

Repertorium

# REPERTORIUM

FÜR

# PHYSIKALISCHE TECHNIK

FÜR

MATHEMATISCHE UND ASTRONOMISCHE

# INSTRUMENTENKUNDE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. PH. CARL,
PRIVATDOCENT AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

DRITTER BAND.

MIT EINEM ATLAS VON 28 TAFELN.

---

MÜNCHEN, 1867.
VERLAG VON R. OLDENBOURG.



# INHALT.

# Der Apparat von W. Thomson zur Beobachtung der atmosphärischen Electricität.

Beschrieben von

Dr. Dellmann.

(Hiezu Tafel III.)

## a) Das Electrometer.

Wenn man von 2 in Berührung stehenden Leitern gleicher Gestalt den einen elektrisirt, so theilen sie sich bekanntlich in das Quantum nach dem Verhältniss ihrer Oberflächen-Grössen. Will man ein kleines Quantum messen, so wird, wenn die beiden Körper die auf einander einwirkenden Theile eines Electrometers sind, die Empfindlichkeit des Instrumentes durch die Abgabe des geladenen Theils an den andern geschwächt, und dies um so mehr, je kleiner der geladene Theil gegen den andern ist. Es muss also vortheilhaft sein, das zu messende Quantum dem zu ladenden Theil allein zukommen zu lassen und den andern Theil aus einer andern Quelle zu laden. Dieser Vortheil ist bisher auch beim Säulen-Electrometer benutzt worden. Hankel, der Einzige, welcher bisher dies Instrument zum Messen benutzt hat, fand es für zweckmässig, zum Laden der Platten, welche einwirken sollen auf das Goldblättchen, sich nicht der trocknen, sondern der Wasser-Säule zu benutzen, hauptsächlich weil diese viel beständiger ist als die trockene. Denn wenn $a$ die Ladung dieser Platten ist und die des Goldblättchens $b$ heisst, so ist die Gesammtwirkung beider aufeinander $ab$, und da man bei jeder Messung nur diese erhält, so muss $a$ constant sein, wenn $ab$ dem $b$ proportional bleiben soll. Immerhin ist aber die Ladung der Platten durch die Säule nur schwach, weil man keine sehr grosse Säule nehmen kann, um das Instrument nicht zu unbequem zu machen.

W. Thomson hat nun den glücklichen Gedanken gehabt, statt der Säule eine Leydener Flasche zu nehmen, wesshalb ich sein Electrometer Flaschen-Electrometer genannt habe. Es liegt auf der Hand,

dass man bei Anwendung der Flasche 2 Vortheile zu erwarten hat: 1) eine viel grössere Empfindlichkeit, da man der Flasche eine viel stärkere Ladung geben kann, als eine kleine Wasser-Säule annimmt; 2) eine grössere Bequemlichkeit in der Anwendung, namentlich im Transport des Apparates, und in der That ist das nachher zu beschreibende Instrument leicht in der Tasche nachzutragen. Allerdings fragt sich, ob nicht mit diesen Vortheilen auch Nachtheile verbunden sind. Die Flasche lässt sich ja auch beim Goldblatt-Electrometer statt der Säule anwenden, wodurch man auch hier eine weit grössere Empfindlichkeit erzielen würde. Es kommt aber auch darauf an, dass das *a* der Platten beständig ist. Die Ladung der Flasche möglichst constant zu machen, hat Thomson viel Arbeit gekostet, und aus einem in den letzten Tagen erhaltenen Briefe geht hervor, dass Schwierigkeiten in dieser Beziehung noch immer bei neuen Apparaten wiederkehren können. Die bisher in Anwendung gekommenen Mittel sind: 1) die Auswahl des Glases, und diese verlangt noch immer Versuche; 2) ein Austrocknungsmittel für den Flaschenraum, wozu er sich der Schwefelsäure bedient, welche bei einer Form seines Electrometers noch zur Erreichung eines zweiten Zweckes dient, dazu nämlich, die Flaschenladung dem einen der beiden Körper, dem Wagebalken mitzutheilen, wogegen der Zuleiter, wie bei meinem Electrometer, aus der zu messenden Quelle geladen wird; er hat also diese beiden Theile meines Electrometers adoptirt. In dem hier zu beschreibenden Luft-Electrometer (portables Electrometer von Thomson genannt) steht der Wagebalken in metallischer Berührung mit der innern Belegung der Flasche, und die zum Austrocknen bestimmte Schwefelsäure ist zum Tränken eines Stückes Bimsstein verwandt worden, welches in einem bleiernen Becher unter dem Deckel hängt. Damit möglichst wenig Luft in die Flasche dringt, ist eine Vorrichtung angebracht, welche Thomson Schirm (umbrella) nennt und nacher beschrieben werden soll. Um die Zahl der aufeinander wirkenden Punkte zu vergrössern und dadurch die Empfindlichkeit zu steigern, ist Thomson über meine Dimensionen hinausgegangen. Der Zuleiter ist zu dem Zwecke mit einer kreisförmigen Messingplatte von $1^1/_2$ bis 2 Zoll Durchmesser verbunden; dieser gegenüber befindet sich das quadratförmige Ende des Wagebalkens, auf welches jene Kreisplatte einzuwirken bestimmt ist. Thomson musste bei dieser Form den Vortheil aufgeben, den

betreffenden Theil des Zuleiters auf beide Arme des Wagebalkens einwirken zu lassen; bei einem andern, dem Reflexions-Electrometer, konnte er auch dieses Vortheils sich bedienen.

Bekanntlich findet das Messen mit Electrometern auf dreifache Weise statt; entweder man bestimmt das Quantum aus dem Raum, den der bewegliche Theil des Instrumentes durchläuft; oder man bringt diesen Theil nach der Bewegung wieder in die frühere Lage und bestimmt das Quantum durch die Kraft, welche dazu erforderlich ist; oder dadurch, dass man jenen Theil in die frühere Lage bringt durch Bewegung des andern, des Zuleiters, und den Raum misst, welchen zu diesem Zwecke der Zuleiter durchläuft. Die 1. Art findet statt bei der Coulomb'schen Drehwage, beim Hankel'schen Electrometer und bei meinem Instrumente, wenn mittelst desselben durch Ausschlagswinkel gemessen wird, welches hier die bequemste Weise ist; die 2. Art findet Anwendung beim Sinus-Electrometer und wenn mittelst der Torsion bei den Torsionswagen gemessen wird; die 3. Art wendet Thomson bei seinem Luft-Electrometer an. Die Art zu messen ist also bei diesem Instrumente eine ganz neue. Die Kreisplatte, welche dem Wagebalken gegenüber steht, ist beweglich durch eine Mikrometer-Schraube, der Zuleiter aber nicht; deshalb muss dieser durch einen dünnen Spiraldraht mit der Platte verbunden sein.

Die Flasche des Luft-Electrometers ist ein cylinderförmiges Glasgefäss von etwa 4 Zoll Höhe und $3^1/_2$ Zoll Durchmesser. Sie ist zum Schutze und als äussere Belegung mit einem Messinggefäss umgeben, welches 4 Fenster (vorn und hinten, rechts und links) hat von 2 Zoll Höhe und $1^1/_4$ Zoll Breite, damit Licht i'ns Innere fällt. Einen guten halben Zoll vom Boden der Flasche liegt eine kreisförmige Messingplatte (Bodenplatte) vom Durchmesser der Flasche, so dass sie noch bequem hinein gelegt werden kann. Sie ruht auf einem hölzernen Ringe, welcher von der innern Belegung, mit der auch dieser Ring überklebt ist, festgehalten wird. Auf diesem Ringe kann die Platte mit 2 Schrauben befestigt werden. Die Platte hat in der Nähe des hintern Fensters ein quadratförmiges Loch von etwa $^1/_2$ Zoll Seite, und am vordern Fenster am Rande einen Ausschnitt von derselben Breite und etwa 2''' Tiefe. In der Richtung dieser Fenster ist unter der Platte der Wagebalken von Aluminium ausgespannt an einem feinen Platindraht. An einem Ende hängt der Platindraht an einer Feder, am andern an einem Stift mit Schraube,

welche mit einem Uhrschlüssel leicht gedreht werden kann, um dem Platindraht mehr oder weniger Spannung zu geben. Der Wagebalken hat an der Stelle, wo der Platindraht hindurch geht, eine Verbreiterung, in welche mit einer feinen Nadel ein paar Löcher gemacht sind zum Durchleiten des Platindrahtes. Ist der Platindraht gespannt, so sitzt der Wagebalken fest. Das Quadrat am hintern Ende des Wagebalkens hat die Grösse, dass es sich eben in dem quadratischen Loche der Platte frei bewegen kann. Am andern Ende bildet der Wagebalken eine Gabel mit zwei Spitzen, welche nach oben umgebogen, etwa 2‴ von einander und 2‴,5 lang sind. Am obern Ende ist zwischen beiden Spitzen ein feines Haar ausgespannt. Diese Gabel spielt in dem vordern Einschnitt der Platte auf und ab, wenn der Wagebalken im Gleichgewicht ist. Vor der Anwendung des Apparates muss durch die Torsion des Platindrahtes dieses Gleichgewicht aufgehoben werden, und die Messung findet dann in der Weise statt, dass durch Zuführung von Electricität und Bewegung der Ladungsplatte das Gleichgewicht hergestellt wird. Zur genauen Controle des Gleichgewichts, zum Einstellen, dient eben jenes Haar, welches vor einem Papierblättchen mit zwei feinen schwarzen Puncten spielt, von denen der eine dicht über dem andern steht, so dass man das Haar genau mittelst einer Lupe zwischen beiden durchgehen sieht, wenn das Instrument eingestellt ist. Das Papier mit den beiden Puncten ist auf ein Messingplättchen geklebt, welches in verticaler Richtung in dem Einschnitt der Bodenplatte angeschraubt ist.

Ueber dem quadratförmigen Ende des Wagebalkens hängt mittelst eines Glasstiels an der Micrometerschraube die Ladungsplatte von 1,5 bis 2 Zoll Durchmesser. Die Mikrometerschraube schiebt sich durch Drehen ihrer Mutter oben über dem Deckel auf und ab. Die Mutter besteht aus einer kreisförmigen Messingplatte von etwa 3‴ Dicke, mit einem kegelförmigen Ansatz in der Mitte nach unten und einer Eintheilung am Rande; auf der untern Seite ist um den Kegel ein breiter Ring eingedreht von etwa halber Dicke der Platte; der Kegel greift in eine entsprechende Vertiefung des Deckels und in den Ring eine passende Erhöhung auf dem Deckel, Beides, um hier den Eintritt der äussern Luft abzuhalten. Auf die Schraubenmutter ist concentrisch mit ihr eine cylinderförmige Büchse befestigt von etwa 4‴ Durchmesser, welche etwa 6‴ über der Mutter von einem gekörnelten Ringe zum Umdrehen umgeben ist, oben in der

Büchse steckt ein Cylinder von der Höhe eines starken Zolles und der Dicke, dass er leicht in der Büchse gedreht werden kann; dieser Cylinder ist an einer Seite mit einer Scala versehen, deren Einheiten den Schraubenumgängen gleich sind; auch ist er mit einer durch seine Achse gehenden kleinen Schraube auf einem Absatze der Micrometerschraube befestigt. Unter dem Deckel geht die Micrometerschraube in den Cylinder, an welchem unten die Ladungsplatte hängt und in dessen Boden sie fest gelöthet ist. Dieser Cylinder schiebt sich durch Drehen der Micrometerschraube auf und ab in einem andern, welcher unter dem Deckel befestigt ist. Damit der bewegliche Cylinder beim Drehen der Micrometerschraube sich nicht mit dreht, befindet sich auf seiner äussern Oberfläche parallel mit seiner Achse eine schmale Leiste, welche sich in einer Nuthe des festen Cylinders bewegt. Um die Mutter der Micrometerschraube fest angedrückt gegen den Deckel zu erhalten, befindet sich in dem beweglichen Cylinder, die Schraube umgebend, ein starker Spiraldraht als Feder. Die Mutter der Micrometerschraube ist am Rande in 100 gleiche Theile getheilt, so dass man mittelst Schätzung der Zehntel noch ein Tausendstel einer Umdrehung messen kann.

Der Zuleiter, ein Messingdraht von 1 bis 2 Linien Dicke, geht durch eine kreisförmige Oeffnung des Deckels von etwa 6‴ Durchmesser; am obern Ende ist er in der Richtung seiner Achse und in der Länge etwa eines Zolles angebohrt, dann dies Röhrchen an einer Seite aufgeschlitzt zum Federn; in dies Röhrchen wird der Draht gesteckt, welcher die Electricität aus der zu messenden Quelle dem Messinstrumente zuführt. Im Instrumente steht der Zuleiter auf einem Arme von Messing, welcher mittelst eines Glasstiels und passender kleiner Büchsen unter dem Deckel befestigt ist. Von diesem Arme führt der dünne Spiraldraht die Electricität zur Ladungsplatte. Um den Zutritt der Luft durch die Oeffnung für den Zuleiter abzuhalten, ist diese Oeffnung zunächst mit einer Büchse mit Absatz umgeben; auf diesen Absatz passt genau der Schirm. Dieser ist eine cylindrische Büchse von etwa 2″ Länge und 4 bis 5 Linien Weite, am obern Ende durch einen Deckel geschlossen, welcher in der Mitte ein kreisförmiges Loch hat, um eine zweite enge Büchse durchstecken zu können, welche genau das obere Ende des Zuleiters umschliesst. Die enge Büchse ist von der Länge der weitern und im Loche des Deckels festgelöthet. Drückt man nun den Schirm auf den Absatz

hinunter, so ist die Oeffnung luftdicht verschlossen. Hebt man den Schirm bis über seinen Absatz, wo er von der Reibung am Zuleiter getragen wird, so kann doch nur sehr wenig Luft eindringen, weil die Büchse mit dem Absatz bis hoch in den Schirm hineinragt. Die Lufttheilchen, welche eindringen, müssen zuerst unter dem Schirmrande hinweg in die Höhe steigen, über den obern Rand der festen Büchse dann wieder hinunter, um so neben dem Zuleiter vorbei in's Instrument zu gelangen. Nach jeder Messung drückt man den Schirm auf seinen Absatz, nicht bloss, um während des Nichtgebrauchs die Luft abzuhalten, sondern auch, um das Instrument zu entladen, weil man durch Niederdrücken des Schirms den Zuleiter mit der äussern Belegung in Contakt setzt.

Der Deckel des Instruments hat noch eine kleine kreisförmige Oeffnung nahe am Rande, um die Flasche laden zu können; sie ist durch einen Schieber luftdicht zu schliessen. Behufs der Ladung setzt man einen mit Kautschuck oder Schellack überzogenen Draht, dessen beide Enden frei gelassen, hinein; der Draht muss also die Länge haben, dass er, wenn er mit dem untern Ende auf der Bodenplatte steht, mit dem obern noch etwa ein paar Zoll über dem Deckel hervorragt. Mit einer 3 bis 4 zölligen Korkplatte kann man leicht durch Reibung auf Tuch die nöthige — E. hervorrufen, und mit einem kleinen Electrophor die + E., welche zur Ladung hinreicht. Eine passende Ladung hält mehrere Monate. Den Bimsstein muss man zuweilen ausglühen und dann auf's Neue mit Schwefelsäure tränken.

Ist nun dem Platindraht eine schwache Torsion in dem Sinne gegeben, dass das Haar an der Gabel des Wagebalkens über den 2 Puncten steht ohne Ladung der Flasche, und man nimmt, um das Instrument in Gebrauch zu setzen, die Ladung vor, so wird man anfangs das Haar unbeweglich sehen bis die Ladung einen gewissen Grad erreicht, bei welchem das Haar sich zu senken beginnt. Je weiter die Ladungsplatte hinuntergeschraubt war vor dem Beginn der Ladung, desto früher tritt der Punct ein, wo das Haar seine Bewegung beginnt. Man kann dann leicht durch geringes Heben oder Senken der Ladungsplatte das Haar zur genauen Einstellung bringen. Die Deutung dieses Vorganges ist einfach. Ladet man die Flasche z. B. mit — E., so bekommen auch Bodenplatte und Wagebalken die — E. Die Bodenplatte und die innere Belegung, welche zwischen den Fenstern bis in die Nähe des Deckels hinaufgeht,

wirken vertheilend auf die Ladungsplatte und binden in derselben + E., während die dadurch frei werdende — E. durch die Electrode fortgeführt wird, weil der Schirm noch nicht gehoben ist, die Ladungsplatte also noch mit der äussern Belegung in Berührung steht. Ist nun durch fortgesetztes Laden die Anziehung zwischen dem Aluminium-Quadrat und der Ladungsplatte so gross geworden, dass sie die Torsion des Platindrahtes zu überwinden vermag, so fängt der Wagebalken, resp. das Haar an sich zu bewegen, und es ist dann leicht, mittelst der Mikrometerschraube die Stellung der Ladungsplatte zu finden, bei welcher das Haar zwischen den beiden Puncten einspielt, welches mit einer Lupe beobachtet wird, die am Instrumente befestigt ist. Findet das Einspielen statt, so wird abgelesen, zuerst die Scala am Cylinder, wie viel ganze Schraubengänge, dann die Eintheilung am Rande der Mutter, wie viel Tausendstel der letzten Drehung die Schraube gemacht; dies ist also die Null-Stellung der Ladungsplatte, d. h. ihre Stellung bei der Ladung Null von aussen. Führt man jetzt der Ladungsplatte durch den Zuleiter nach Lüftung des Schirmes noch + E. zu, so wird die Anziehung zwischen ihr und dem Ende des Wagebalkens grösser, das Haar senkt sich also. Um das Haar wieder zu heben, um es wieder einzustellen, muss man die Einwirkung beider Körper auf einander schwächen, also die Ladungsplatte heben. Diese Hebung in Tausendstel der Schraubendrehung ausgedrückt ist das Maass für die zugeführte Menge + E. und wird also gefunden, wenn man die Null-Ablesung subtrahirt von der nach Zuführung des zu messenden Quantums. Was stattfindet, wenn — E. gemessen werden soll, ergibt sich von selbst daraus. Man sieht, dass auf diese Weise die Zahlen für die Quantitäten zwar noch nicht direct abgelesen werden, aber doch sehr leicht zu berechnen sind.

Die Theorie des Instrumentes, so weit sie zum Verständniss der Ablesungen dient, ist sehr einfach. Es sollen mit demselben nur kleine Quantitäten, Spannungen gemessen werden, wie sie eine Zink-Kupfer-Säule von einigen Hundert, höchstens ein paar Tausend Elemente gibt. Diese Quantitäten sind gegen die Ladung der Flasche nur klein, da eine 3 zöllige Korkscheibe nur einmal kräftig über Tuch gestrichen leicht die Ladung von 1 bis 2 Tausend Elementen erlangt. Eine ganze Schraubendrehung entspricht bei meinem Thomson'schen Luft-Electrometer etwa 400 Elementen einer solchen Säule. An der Stelle, wo mein Sammel-Apparat aufgestellt ist (etwa 15 Fuss

vom Boden), erhalte ich durchschnittlich im Sommer bei heiterm Himmel eine Spannung von 40 bis 80 Elementen. Wenn man nun der Ladungsplatte ein gewisses Quantum Electricität zugeführt und dies gemessen hat, ein anderes Mal führt man ihr das 4fache Quantum zu, so wird man auch fast genau die 4fache Ablesung erhalten. Mit einer Säule lässt sich dies leicht controliren. Genau proportional werden die Ablesungen der Quantitäten nur sein können bei unendlicher Entfernung der Ladungsplatte vom Aluminium-Quadrat. Man nähert sich der Genauigkeit also um so mehr, je weiter bei der Einstellung beide Körper von einander entfernt sind, d. h. je stärker die Flasche geladen ist Man muss also für jedes Instrument Correktionstabellen aufstellen. Auch könnte man eine für alle Instrumente gültige Tabelle der Art geben, wenn man alle Instrumente übereinstimmend anfertigte, namentlich wenn man die Entfernung der beiden genannten Körper gleich machte für die Stellung der Micrometerschraube auf Null.

Entschiedene Vorzüge des Instrumentes sind:

1) dass es so leicht transportabel ist;
2) dass es alle Quantitäten mit gleicher Genauigkeit misst;
3) dass es continuirliche Messungen gestattet;
4) dass es in Verbindung mit den Sammel-Apparaten den besten Beweis liefert für die Behauptung, dass sich die atmosphärisch-electrischen Apparate durch Vertheilung, also von oben und nicht von unten laden.

Dass das Instrument gegenwärtig noch seine Mängel hat, versteht sich von selbst; diese muss man studiren, um sie möglichst unschädlich zu machen und sie allmählig beseitigen zu können. Für Beobachtungsfehler ist ein ziemlich weiter Spielraum gesetzt, hauptsächlich weil die Einstellung des Haars zwischen die zwei Puncte zu wenig genau ist. Ich habe deshalb mit Erfolg statt der beiden Puncte auf Papier einen feinen Strich auf einem kleinen Metallspiegel angewandt. Ein anderer Mangel steckt in den Störungen, welche durch die bedeutenden Glasmassen herbeigeführt werden; man muss diese Störungen studiren und lernt dabei. Beim Schluss der Beobachtung muss man Gleichgewicht herstellen nach der Entladung, d. h. nach dem Aufschieben des Schirmes. Thut man das nicht, lässt man z. B. das Haar unten stehen und die Flasche ist mit — E. geladen, so findet man nach ein paar Stunden bei Her-

stellung des Gleichgewichts eine grössere Zahl, also eine solche, als hätte die Ladung zugenommen. Der Grund liegt nahe. Während der Zeit befanden sich die beiden Körper in geringerer Entfernung von einander, sie zogen sich also stärker an und dadurch ist Electricität vom Glase auf die Metalltheile zurückgetreten. Ich habe das Glas durch Luft ersetzen wollen, aber das ist mir noch nicht gelungen.

## b) Die Sammel-Apparate.

### 1. Der Wasser-Collector.

Ein Metallgefäss, welches etwa 3 bis 4 Quart Wasser fasst, steht auf einem niedrigen hölzernen Dreifuss, dessen kurze Füsse unten mit Schellack überzogen sind. Am besten ist die Höhe des Gefässes bedeutender, als die Weite, um den Druck des Wassers zu vergrössern. Es ist an das Gefäss ein etwa 5 Fuss langes, schwach conisches Rohr (am weitern Ende etwa von 6 Linien Durchmesser) aus Weissblech oder Messing angeschraubt in etwas schräger Richtung mit der Spitze nach unten; die Spitze läuft in eine enge Oeffnung aus zur Erzeugung eines feinen Wasserstrahls. Das kurze Rohrstück am Gefäss, an welches das lange Rohr geschraubt wird, hat einen Hahn zur Regulirung des Stromes. Am Gefäss sitzt dem Rohre gegenüber angelöthet ein Hacken, um ein Gegengewicht gegen das lange Rohr und einen dünnen Draht zum Ueberleiten der Electricität anhängen zu können; das andere Ende dieses Drahtes steckt man in das obere Ende des Zuleiters. Hat man ein höher gelegenes Beobachtungslocal, so stellt man das Wassergefäss mit seinem Dreifuss auf die Fensterbank; wo nicht, so ist leicht dafür ein besonderes Bänkchen an einer der obern Fensterscheiben anzubringen, denn der Wasserstrahl darf nicht zu kurz sein. Das Rohr leitet man durch eine passende Oeffnung der Fensterscheiben in's Freie. Lüftet man nun den Schirm des in der Nähe stehenden Electrometers und öffnet den Hahn am Rohr, so hat man etwa in einer Minute die volle Ladung des Collectors, und wenn dessen Isolation gut ist, noch früher. Die Isolation prüft man dadurch, dass man den Collector etwa mit einer geriebenen Korkscheibe ladet. Das Electrometer muss dann nach dem Einstellen geraume Zeit in diesem Zustande bleiben. Ist die Isolation nicht mehr gut, so ist entweder der Schellack feucht geworden, oder er hat sich an der Oberfläche zersetzt;

im ersten Falle ist der Fehler zu beseitigen durch Abwischen mit einem recht saubern und trocknen Tuche, oder noch besser dadurch, dass man schweflige Säure darüber wegstreichen lässt, indem man ihn über die Flamme eines angebrannten Streichhölzchens hält; im andern Falle wäscht man ihn mit Alkohol ab, oder besser, man schmilzt die Oberfläche um in der Alkoholflamme.[1]) Um diese Operation leicht vollziehen zu können, sind die 3 Füsse nur lose in ihre Löcher gesteckt, so dass man jeden einzeln herausnehmen kann, ohne das Gefäss herunter nehmen zu müssen, indem man den herausgenommenen Fuss durch eine passende Stütze ersetzt.

Es versteht sich, dass die Rohröffnung möglichst immer an demselben Puncte sich befinden muss, um vergleichbare Resultate zu erhalten. Diesen Zweck erreicht man leicht durch ein paar Zeichen auf der Fensterbank, am Dreifuss und am Wassergefäss, und besonders dient dazu eine Büchse, welche in der Mitte des Bodens des Collectors angelöthet ist und ein Loch im Dreifuss genau ausfüllt. Dennoch bringt der Wind leicht eine Drehung des Collectors zu Stande, welche dann mittelst der Zeichen zu corrigiren, durch eine passend angebrachte Stütze aber auch zu verhindern ist.

Man sieht mittelst des Wasser-Collectors meist die Electricität der Atmosphäre bedeutend schwanken; selten bleibt das Electrometer einige Minuten bei derselben Einstellung stehen, besonders bei bewölktem Himmel, und auch bei heiterm Himmel nicht bei einigem Luftzuge. Selbst bei schnellem Wechsel der Spannung kann man diese fortwährend verfolgen, da man ruhig vor dem Instrumente sitzen bleibt. Auch bei Gewittern zu beobachten ist nicht gefährlich, und bei Regen und Schnee misst man mit derselben Zuverlässigkeit, wie bei heiterm Wetter. Bei Gewittern finden nicht selten Entladungen im Electrometer statt, durch die man sich nicht täuschen lassen darf; sie machen sich durch Ueberspringen eines Funkens meist hörbar. Um diese Funken zu vermeiden, kann man den Wasserstrahl sistiren, das Rohr schliessen; man erhält dann natürlich ein weit geringeres Quantum, welches sich aber besser messen lässt und auf die Angaben mit offenem Rohr reducirt werden muss.

---

1) Man sehe darüber nach meine Abhandlung: „Ueber die Gesetzmässigkeit und Theorie des Electricitätsverlustes" in der Zeitschrift für Mathematik und Physik, Jahrgang 1866, S. 351 und 352.

Nach beinahe dreijährigem Gebrauche, während dessen über 15000 Messungen mit dem Apparate gemacht wurden, muss ich das Urtheil abgeben, dass er an Bequemlichkeit bei Weitem alle bisherigen übertrifft und auch in Rücksicht der Genauigkeit den besten nicht nachsteht. Da die Isolirung im Zimmer ist, wie bei meiner Kugel, so leidet sie weder durch Staub noch durch Regen; auch lässt sie sich auf die angegebene Art sehr leicht controliren.

### 2) Die Lunte.

Der Wasser-Collector kann beim Frost nicht gebraucht werden; auch kann man ihn nicht mit in's Freie nehmen. In diesen Fällen hilft man sich mit einer Lunte aus. Man tränkt irgend ein Papier mit einer gesättigten, oder auch nach Bedürfniss mit einer verdünnten Auflösung von salpetersaurem Bleioxyd. Nimmt man Druckpapier und eine gesättigte Auflösung, so verglimmt die Lunte zu schnell, namentlich im Winde; eine Lunte aus einem Streifen von etwa 1 Zoll Breite (zusammengefalten) und 6 Zoll Länge verbrennt dann in ein paar Minuten. Bei stärkerer Luftströmung nimmt man deshalb besser Lunten, welche mit verdünnter Auflösung getränkt und aus Schreibpapier bereitet sind. Recht passend ist es, Kleister mit einer gesättigten Auflösung zu verdünnen, damit das Papier zu bestreichen, dieses dann zusammen zu falten und nach dem Trocknen in passende, ein paar Linien breite Streifen zu zerschneiden. Eine Lunte, welche nicht brennen will, braucht man nur 1 oder 2 Mal in die gesättigte Auflösung zu tauchen und trocken werden zu lassen.

Zur Benutzung im Freien steckt man in die Oeffnung des Zuleiters einen passenden Draht von 1 bis 2 Fuss, aber immer derselben Länge, biegt sein oberes Ende horizontal um, spitzt ihn hier zu oder schneidet ihn mit einer feinen Laubsäge in der Richtung seiner Achse ein, um an der Spitze oder in dem Einschnitt die Lunte in horizontaler Richtung zu befestigen. Steckt man die Lunte im Freien an und hebt sie, indem man das Electrometer vor's Auge bringt, bis über den Kopf des Beobachters, so ladet sich in einigen Secunden das Messinstrument. Tritt man das Electrometer in der Hand haltend, mit brennender Lunte aus dem Hause hinaus, so sieht man alsbald das Haar aus seiner Lage zwischen den 2 Puncten sich herausbewegen; je mehr man sich von der Wand des Hauses entfernt, desto stärker. Steigt

man eine Leiter hinauf, welche an einer freien Mauer steht, so weicht das Haar immer mehr aus seiner Gleichgewichtslage.

Will man beim Froste die Beobachtungen zu Hause machen, so stellt man an die Stelle des Wasser-Collectors einen 3 bis 4 Fuss langen Draht, welcher horizontal und isolirt auf einem Fusse befestigt ist; er muss so dick sein, dass er sein eigenes Gewicht tragen kann. Das äussere Ende, welches durch die Fensteröffnung ins Freie geht, hat einen Einschnitt in der Richtung der Achse zum Einstecken der Lunte. Ein aufgeschobenes Ringelchen drückt dann beim Vorschieben die Klammern zu und hält die Lunte fest. Man nimmt bei jeder Beobachtung den Draht herein, um eine neue Lunte einzuschieben. Das innere Ende des Drahtes ist nach oben gebogen zum Anhängen des Leitungsdrahtes. Hat man das andere Ende des Leitungsdrahtes in den Zuleiter gesteckt, und lüftet den Schirm nach dem Anstecken der Lunte, so ladet sich in einigen Secunden das Messinstrument.

Die Angaben des Drahtes müssen auf die des Wasser-Collectors reducirt werden. Das Mittel dazu liegt auf der Hand. Man stellt Wasser-Collector und Draht, jeder mit seinem Ueberleitungsdraht versehen, neben einander und misst abwechselnd die Angaben Beider; aus einer grössern Anzahl solcher vergleichenden Messungen nimmt man dann das Mittel.

Aehnliche vergleichende Messungen müssen vorgenommen werden, um die Angaben zweier Stationen mit einander vergleichen zu können, nur sind diese viel umständlicher. Zunächst muss jeder Beobachter wissen, wie die Angaben seines Apparates an der gewöhnlichen Beobachtungsstelle sich verhalten zu denen auf einen Platz im Freien, möglichst in der Ebene und fern von erhabenen Gegenständen und in einer bestimmten Höhe. Der Beobachter kann diese Zahlen gewinnen mit seinem Instrumente, wenn er zuerst zu Hause misst, dann draussen, und bei der Zurückkunft wieder zu Hause, natürlich zu einer Zeit, wo die Luft-Electricität möglichst constant ist; öftere Wiederholung dieses Verfahrens gibt dann schon ziemlich zuverlässige Zahlen. Schneller und besser finden sich diese, wenn 2 Beobachter gleichzeitig messen, der Eine zu Hause, der Andere im Freien; dann müssen aber noch die beiden Electrometer verglichen sein, und wie eine solche Vergleichung am passendsten vorgenommen wird, ist bereits oben gesagt worden. Schliesslich kommt es dann noch auf ein Grundmaass, eine constante Einheit an, auf welche alle Zahlen

reducirt werden müssen, wenn man die Beobachtungen verschiedener Stationen mit einander vergleichen will. Dazu habe ich die Spannung einer Zink-Kupfer-Säule mit destillirtem Wasser vorgeschlagen und weiss auch bis heute nichts Passenderes anzugeben. Man muss aber wissen, in wie weit eine solche Säule constant ist. Darüber habe ich seit 15 Jahren viele Tausend Messungen gemacht, auch vor 3 Jahren einen kleinen Aufsatz darüber veröffentlicht im Jahresbericht der Pollichia; die Hauptarbeit aber habe ich bis jetzt aus Mangel an Zeit noch nicht beenden können.

Auf welche Weise die Ladung statt findet beim Wasser-Collector und der Lunte, darüber können Diejenigen nicht verschiedener Ansicht sein, welche die Erscheinungen kennen. Von unten kann die Ladung nicht kommen durch Mittheilung, weil der Apparat isolirt ist und weil die Qualität der Ladung dagegen spricht. Durch Influenz kann die Ladung von unten auch nicht kommen, weil sie dann ebenfalls das entgegengesetzte Vorzeichen haben musste. Die Ladung kann nur durch Influenz von oben kommen. Der positiv electrische Zustand der atmosphärischen Luft, wie er bei heiterm Himmel gewöhnlich ist, zieht durch Influenz die — E. an und diese entweicht durch den Wasser oder Dampfstrahl; die + E. bleibt also zurück und ladet das Electrometer. Dass der Wasserstrahl mit — E. geladen ist, kann man leicht durch einen Versuch nachweisen, indem man die Tropfen in einem isolirten Gefäss auffängt, von dem ein Draht isolirt zum Electrometer geht. Ein Aufsatz in Pogg. Annalen soll die bisher mit dem Apparate gewonnenen Resultate bringen.

## c) Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1 Taf. III stellt einen verticalen Durchschnitt des Messinstrumentes von vorn nach hinten dar, nur wenig vergrössert; *aa* ist das Messinggefäss, welches das Glas umgibt, *bb* sein Deckel, *cc* die Bodenplatte, *d* der Wagebalken und *e* dessen quadratförmiges Ende, *f* das Messingplättchen mit den 2 Puncten, vor denen das Haar spielt, *gg* der hölzerne Ring, auf welchem die Bodenplatte befestigt ist, *k* ein Messingstäbchen mit 2 Stiftchen, um die Bewegungen des Wagebalkens in Schranken zu halten, *ii'* die Ladungsplatte, *k* der Glasstiel dieser Platte, *ll* die Büchse mit der Mikrometerschraube, *m* diese Schraube, *nn* der zur Feder dienende Spiraldraht, welcher die Schraube umgibt, *oo* der Cylinder mit der Scala in 2 Stellungen, einmal *oo* in der, wo er voll-

ständig herunter gelassen ist, dann *o* in der, wo er bis zu 25 Drehungen entblösst zu sehen ist bei einer Ladung der Flasche, wie sie selten in Anwendung kommt; *pp* ist die Mutterschraube, *qq* der gekörnelte Ring zum Drehen derselben, *r* die kleine Schraube zur Befestigung des Scalen-Cylinders mit der Micrometerschraube; *ss* der Cylinder, in welchem sich die Büchse mit dem Spiraldraht auf und ab schiebt; *tt* ist der dünne Spiraldraht, welcher den Zuleiter mit der Ladungsplatte verbindet; *uu* ist die Erhöhung unter der Schraubenmutter zum Abhalten der Luft; *vv* ist der Arm, auf welchem der Zuleiter steht; *w* ist der Zuleiter; *xx* ist der Schirm; *yy* ist die in den Schirm hineinragende Büchse mit unten dem Absatz für den Schirm; *z* ist der in den Zuleiter gesteckte Draht mit der Lunte; *a'a'* ist das Glas; *b'* ist die Leiste an dem innern Cylinder, welche sich in der Nuth des äussern schiebt, damit die Micrometerschraube sich nicht drehen kann.

Fig. 2 stellt das Messinstrument und den Wasser-Collector in perspectivischer Ansicht und verkleinert dar.

Fig. 3 zeigt die Unterseite der Bodenplatte; *aa* ist die Rinne für den Platindraht; *bb* der Wagebalken, *c* das quadratförmige hintere Ende desselben; *dd* der Platindraht; *e* die Feder, an der er auf der einen Seite hängt; *f* der Stift, an dem er auf der andern Seite befestigt ist; *gg* die Gabel, *h* das Haar.

Kreuznach, am 13. Januar 1867.

# Ueber eine zweckmässige Einrichtung des Spiegelgalvanometers.

Von

**Ph. Carl.**

(Hiezu Tafel V, Fig. 1—3.)

Das im Folgenden beschriebene, auf Tafel V Fig. 1 dargestellte Spiegelgalvanometer ist im Wesentlichen eine Vereinigung des Wiedemann'schen Galvanometers mit der von Lamont bei seinem Galvanometer und seinen magnetischen Variations-Instrumenten angewandten Ablesungsweise. Dabei ist das Ganze auf einem Dreifusse in der Weise aufgestellt, dass sich die Magnetnadel sammt den Multiplicatorrollen leicht, ohne das ganze Instrument verrücken zu müssen, in den magnetischen Meridian einstellen lässt.

Die Schiene *A* (Fig. 1.) trägt zugleich das Galvanometer *G* und die Ablesungsvorrichtung *F*. Das Galvanometer ist, wie bereits erwähnt, im Allgemeinen das Wiedemann'sche; nur ist dabei der magnetische Stahlspiegel durch einen kleinen Magnet und einen senkrecht dagegen befestigten Silberspiegel ersetzt. Der Magnet *m* (Fig. 2) ist mittelst zweier Mütterchen *r*,*r* an dem unten eine Schraube bildenden Stifte *s*, welcher den Silberspiegel *S* trägt, befestigt. Der Spiegel *S* befindet sich in dem auseinanderschraubbarem Ringe *R*. Der Stift *s* geht durch das Röhrchen *f* hindurch, so dass der Magnet dann in die Mitte der dämpfenden Kupferhülse eingestellt werden kann.

Der Ring *R* ist auf beiden Seiten geschlossen; auf der dem Beobachter zugewendeten Seite mit einem genauen Planparallelglase, auf der entgegengesetzten Seite mit einem gewöhnlichen Spiegelglase. Beide Gläser sind in federnde Hülsen eingebügelt, welche in den Ring *R* hineingeschoben werden können.

Die dämpfende Hülse *H*, in der sich der Magnet befindet, besteht aus Rothmetall und ist an beiden Seiten mit gewöhnlichen Gläsern

geschlossen, wodurch der Einfluss der Luftströmungen möglichst vermindert wird.

In dem Ringe *R* ist oben das Rohr *B* zur Aufnahme des Coconfadens eingeschraubt. Nimmt man die Kappe am oberen Ende dieses Rohres ab, so lässt sich die Mutter *M* Fig. 3 herausschrauben. Durch diese Mutter geht der unten in einen Hacken endigende Stift *k* hindurch, welcher mittelst des Schräubchens *v* festgestellt werden kann. An dem Hacken wird das obere Ende des Coconfadens befestigt und kann so die Länge desselben durch Verstellen des Stiftes regulirt werden. Zur Versicherung d. h. um das möglicherweise eintretende Durchfallen des Stiftes zu verhindern ist oben das Mütterchen *p* angeschraubt.

Die ganze Vorrichtung kann vom Schlitten *MN* abgeschraubt und dann die Torsion des Fadens gehoben werden. Zu diesem Behufe hängt man das Ganze verkehrt auf, schraubt die Mutter los, so dass sie selbst als Torsionsgewicht dient, und lässt das Ganze ein paar Stunden hängen, bis keine Drehung mehr stattfindet. Vergl. darüber Lamont Annalen der k. Sternwarte bei München. IV. Supplementband p. 117.

Auf dem Schlitten *MN* sind die Multiplicatorrollen *LL* verschiebbar. Sie lassen sich ganz zusammenschieben, so dass sich die Hülse *H* in ihrer Höhlung befindet; die jeweilige Entfernung von der Mitte kann an einer im Millimeter eingetheilten Scale abgelesen werden. Ich gebe dem Galvanometer in der Regel zwei Paare von Multiplicatorrollen bei, wovon das eine Paar wenige Windungen dicken Kupferdrahtes, das andere Paar einen langen, feinen Draht in vielen Windungen trägt. Auch werden auf Verlangen Rollen mit einer einzigen Windung ganz dicken Drahtes beigegeben und es ist klar, dass auch Rollen mit sehr vielen Windungen ganz feinen Drahtes zu Untersuchungen über thierische Electricität angebracht werden können. Ferner gehören zu jedem Galvanometer zwei Magnete, ein kleinerer und ein grösserer — entsprechend dem leichteren und schwereren Magnetspiegel beim Wiedemann'schen Galvanometer.

Am andern Ende der Schiene *A* befindet sich die Ablesungsvorrichtung. Die Axe des Fernrohrs *C* liegt dabei in den Lagern; mittelst der Schraube *S* kann das Fernrohr gehoben und gesenkt werden. Der Ständer des Fernrohres ist um einen Stift, welcher unten ein Gewinde trägt und mittelst einer Mutter angezogen werden

kann, drehbar so dass die optische Axe derselben in die richtige Lage gegen den Magnetspiegel gestellt werden kann. Auf beiden Seiten vom Fernrohre stehen die Scalenhalter *q,q*; die Scale wird zwischen die Halter und federnde Messingstreifen eingeschoben. Die Scale selbst ist auf Glas eingebrannt, die Theilungsintervalle sind Millimeter. Hinter der Scale steht der Träger des Beleuchtungsspiegels *P*. Dieser Spiegel ist in eine Messingplatte eingelassen, welche das Charnier *c* trägt, das an dem federnden Rohre *o,o* drehbar befestigt ist. Der Spiegel lässt so eine doppelte Axenbewegung und eine Verschiebung der Höhe nach zu.

Das ganze bisher beschriebene Instrument ist nun auf den Dreifuss *D* aufgesetzt. Durch die Mitte desselben geht ein genau cylindrischer Stift, welcher oben ein Gewinde mit der Mutter *E* trägt. Steht der Dreifuss genau horizontal, so steht auch die Schiene *A* horizontal. Wird nun die Mutter *E* gelüftet, so kann die Schiene gedreht und so der Magnet sammt den Multiplicatorrollen und dem Fernrohre in den magnetischen Meridian eingestellt werden.

Um die Astasie des Magnetes herzustellen, kann man entweder auf die Schiene *A* einen zweiten Magnet hinlegen und verschieben oder man kann unter dem Instrumente eine Vorrichtung mit einem zweiten Magneten anbringen.[1])

---

1) Um die bei allen Holzarbeiten vorkommenden Missstände zu beseitigen, habe ich jüngster Zeit alle Theile des Instrumentes aus Messing verfertigt. Gleichzeitig habe ich noch einige zweckmässige Abänderungen angebracht, auf die ich im nächsten Hefte des Repertoriums zurückkommen werde.

# Die photometrischen Apparate, welche von der Stadt Paris zur Controlle der Leuchtkraft des Gases angewendet werden.

Mitgetheilt von

Dr. Jos. Krist in Wien.

(Hiezu Taf. I und II.)

In den Contracten, welche zwischen den Gesellschaften für Herstellung der Gasbeleuchtung und den betreffenden Stadtgemeinden abgeschlossen werden, kommt regelmässig ein die Leuchtkraft des Gases normirender Paragraph vor. Wie wichtig auch die genaue Einhaltung der diesbezüglichen Stipulationen für die Gasconsumenten ist, so fehlt es doch nicht selten an der gehörigen Ueberwachung; und dies wohl nur aus dem Grunde, weil es bislang an Einrichtungen mangelte, welche einem, nur halbwegs verständigen Menschen gestatten den Controlldienst mit aller wünschenswerthen Accuratesse zu versehen. Gegenwärtig liegt jedoch ein Mangel an derlei Controllapparaten nicht mehr vor; denn vor kurzer Zeit hat die Stadt Paris für die Controlle der Leuchtkraft und Reinheit des Gases ein System organisirt, welches in ebenso einfacher als ausgezeichneter Weise functionirt. Die in den Controllstationen angewendeten Instrumente sind nach so vortrefflichen Grundsätzen construirt, dass sie, ganz abgesehen von ihrer rein praktischen Wichtigkeit, auch für die Leser dieses Repertoriums von Interesse sein dürften.

---

Der Artikel 10 des von der Stadt Paris mit der Gasbeleuchtungs-Gesellschaft abgeschlossenen Vertrages vom 23. Juli 1855 hatte festgesetzt: „Das Leuchtgas ist aus Steinkohle zu bereiten; dasselbe soll vollkommen rein und von einer solchen Leuchtkraft sein, dass es bei gewöhnlichem Drucke für die Brenner der Strassenbeleuchtung folgende Lichtintensitäten gebe:



1) bei einem stündlichen Verbrauche von 100 Liter Gas 0,77 der Lichtstärke einer Carcel'schen Lampe, welche 42 Gramm wohl gereinigten Ripsöles in der Stunde verbrennt;
2) bei einem stündlichen Verbrauche von 140 Liter Gas 1,10 der Lichtstärke derselben Lampe;
3) bei einem stündlichen Verbrauche von 200 Liter Gas 1,72 der Lichtstärke derselben Lampe."

Im Artikel 16 desselben Vertrages waren die Minimaldimensionen der Flammen dieser Brenner in folgender Weise fixirt:

„für Nr. 1 mit $0^m$,057 Breite und $0^m$,029 Höhe,
„ Nr. 2 „ 0,067 „ „ 0,032 „
„ Nr. 3 „ 0,094 „ „ 0,045 „ "

Bei der Feststellung dieser Zahlen, welche zur Beurtheilung der Leuchtkraft des Gases dienen sollten, hatte man sich von photometrischen Versuchen leiten lassen, die 1845 von Arago, Fresnel und Mary über das aus Kohlen von Commentry bereitete Leuchtgas ausgeführt worden waren. Trotz dieser sicheren Grundlage zeigte es sich bald, nachdem die Pariser Gascompagnie ihren Dienst organisirt hatte, dass das von dieser gelieferte Gas den oben angegebenen Bedingungen in Bezug auf Leuchtkraft nicht entsprach. Es wurde desshalb eine besondere Commission, an deren Spitze die Herren Regnault und Dumas standen, mit der Aufgabe betraut, in der der Pariser Compagnie gehörigen grossartigen Gasanstalt zu Vilette umfassende Versuche anzustellen. Es wurde auf die in der Gasfabrik sonst übliche Weise aus englischen, belgischen und französischen Kohlen Gas destillirt und für jede Sorte die Leuchtkraft auf das sorgfältigste ermittelt. Das Resultat von diesen Versuchen war, dass nur jenes Gas, welches aus der französischen Kohle von Commentry gewonnen wurde, die in Bezug auf die Leuchtkraft vereinbarten Bedingungen annähernd erfülle. Bei derselben Gelegenheit wurde zugleich eine Reihe von Untersuchungen ausgeführt, um alle jene Umstände, welche auf die Leuchtkraft des Gases Einfluss nehmen, zu ermitteln; hierher gehören der Druck, unter welchem das Gas aus dem Brenner strömt, die Weite und Form der Brenneröffnung, die Menge der dem Gase zugeführten Luft.

Die diesbezüglichen Versuche wurden unter Leitung der Herren Regnault und Dumas von den Herren Paul Audouin und Paul Bérard durchgeführt und die Resultate von letzteren in den Annales de chimie et de physique 3$^e$ série t. LXV veröffentlicht. Bei den

Experimenten kam es selbstverständlich vor allem darauf an, ein Maass für die Leuchtkraft des Gases festzustellen. Man liess sich dabei von dem praktischen Gesichtspunkte leiten, dass das Gas als Ersatz für das Oel dienen solle und dass daher die Leuchtkraft des Gases am zweckmässigsten mit jener einer Oellampe, wie sie gewöhnlich im Gebrauche ist, zu vergleichen sei. Regnault und Dumas formulirten demgemäss die Aufgabe in folgender Weise:

„Zwei Flammen von gleicher Intensität, die eine erzeugt von einer Carcel'schen Lampe, die andere von einer so viel als möglich unter gleichen Umständen brennenden Gaslampe, sind gegeben; man soll den Verbrauch an Oel und Gas bestimmen, welcher respect. bei der einen und andern dieser zwei Lichtquellen während einer gegebenen Zeit stattgefunden hat."

In Consequenz der so gestellten Aufgabe wurde als Type für die Gasbrenner derjenige gewählt, welcher mit dem Brenner der Carcel'schen Lampe die meiste Aehnlichkeit besitzt und in welchem das Gas, sowie bei der Carcel'schen Lampe das Oel mit doppeltem Luftzuge verbrennt. Werden die beiden Lampen in gleiche, unveränderliche Entfernung von einem Photometer aufgestellt und ihre Intensitäten stets unter einander gleich erhalten, so hat man am Ende einer gewissen Zeit nur das Gewicht des verbrannten Oeles und das Volumen des verbrauchten Gases zu eruiren, um für die Leuchtkraft des Gases ein bestimmtes Aequivalent zu bekommen.

Der zur Controlle der Leuchtkraft des Gases nöthige Apparat wird daher aus einer Carcel'schen Oellampe, aus einem dieser möglichst conformen Gasbrenner, aus einem Photometer, aus einer Wage, einer Gasuhr und aus einem Secundenzähler zu bestehen haben. Ausserdem ist noch ein Wassermanometer zur Bestimmung des Gasdruckes erforderlich, da die Versuche gezeigt haben, dass die stärkste Leuchtkraft dem niedrigen Drucke entspricht und zwar dass für alle Brenner und für jeden Gasverbrauch das Maximum der Lichtstärke bei einem Drucke von 2 — 3 Millimeter eintritt.

### A. Die Carcel'sche Lampe.

In Bezug auf die Carcel'sche Lampe wurden von Audouin und Bérard jene Umstände ermittelt, welche auf die Intensität der Flamme Einfluss üben. Es ergab sich: a) dass die Höhe des Dochtes, so lange



sie $10^{mm}$ nicht erreicht, den Oelverbrauch und die Lichtstärke vermehrt, dass aber von jener Grenze an eine Verminderung der letzteren Grössen eintritt; b) dass der Oelverbrauch und die Intensität wachsen, je höher die Einschnürung des Lampenglases über dem Niveau des Dochtes liegt, dass aber von einer gewissen Grenze an die Intensität wieder abnimmt, während der Oelverbrauch noch fortwächst: dass es daher eine Entfernung der Einschnürung des Lampenglases vom Niveau des Dochtes gibt, bei welcher die Lichtstärke ein Maximum wird; c) dass ein Docht von mittlerer Feinheit bei gleichem Oelverbrauche die grösste Leuchtkraft erzeugt; d) dass bei einem Oelverbrauche von ungefähr 42 Grammen in der Stunde die Zahlen, welche die Leuchtkraft ausdrücken und durch den Gasverbrauch eines Gasbrenners repräsentirt wurden, nahezu constant sind. Ausserdem hat sich ergeben, dass die Temperatur, die Bewegung der Luft, die Dauer des Anzündens und der Grad des Gefülltseins der Lampe Einfluss auf den Oelverbrauch und die Leuchtkraft nehmen.

Geleitet von diesen Versuchsresultaten hat man für die als Type angewendete Carcel'sche Lampe (Fig. 1) die folgenden Dimensionen gewählt:

| | mm |
|---|---|
| Aeusserer Durchmesser des Brenners . . . . . . . . . . | 23,5 |
| Innerer Durchmesser des Brenners . . . . . . . . . . . | 17,0 |
| Gesammthöhe des Glases . . . . . . . . . . . . . . . | 290,0 |
| Abstand der Einschnürung des Glases von der Basis desselben | 61,0 |
| Aeusserer Durchmesser des Glases im Niveau der Einschnürung | 47,0 |
| Aeusserer Durchmesser des Glases an dessen oberem Ende . . | 34,0 |
| Mittlere Dicke des Glases . . . . . . . . . . . . . . | 2,0 |
| Höhe des Brenners . . . . . . . . . . . . . . . . . | 87,0 |

Der Docht ist sogenannter Leuchtthurmdocht. Nach der Instruction für die Manipulanten ist der Docht aus 75 Fäden geflochten, so dass ein Decimeter 3,6 Gramm wiegt. Der Docht muss an einem trockenen Orte, oder wenn das Versuchslocal feucht ist, einer Schachtel, welche in einem Doppelboden lebendigen Kalk enthält, aufbewahrt werden. Als Brennmaterial wird gut gereinigtes Ripsöl verwendet.

## B. Gasbrenner.

Der Normal-Gasbrenner soll, wie schon erwähnt wurde, jenem der Carcel'schen Lampe möglichst ähnlich sein. Ferner lehrten vergleichende Versuche mit verschiedenen Brennern, dass der Brenner von

Bengel aus Porcellan mit 30 Löchern von 0,mm6 Durchmesser am vortheilhaftesten ist, indem er bei gleicher Leuchtkraft die geringste Gasmenge verbraucht. Es wurde desshalb dieser Bengel'sche Gasbrenner (Fig. 2), der mit einem Korbe versehen ist, angenommen. Die Dimensionen der Normal-Gaslampe sind laut der Instruction:

| | | mm |
|---|---|---|
| Die Gesammthöhe des Brenners | | 80 |
| Entfernung der Spitze des Brenners vom Anfange der Gallerie | | 31 |
| Höhe des cylindrischen Theiles des Brenners | | 46 |
| Aeusserer Durchmesser des Porcellancylinders | | 22,5 |
| Durchmesser des inneren Luftstroms | | 9 |
| Durchmesser des Kreises, welchem entlang die Löcher gebohrt sind | | 16,5 |
| Mittlerer Durchmesser der Löcher | | 0,6 |
| Höhe des Glases | | 200,0 |
| Dicke des Glases | | 3 |
| Aeusserer Durchmesser des Glases | in der Höhe | 52 |
| | an der Basis | 49 |
| Zahl der im Korbe befindlichen Löcher | | 109 |
| Durchmesser der Löcher im Korbe | | 3. |

Nach der Instruction muss jeder Brenner vor seiner ersten Verwendung mit den unter Siegel verwahrten Normalbrennern verglichen werden. Weil der Gasdruck nur zwischen 2 und 3mm variiren darf, so ist an der Gaslampe ein Wassermanometer $M$ (Fig. 3) behufs der Controlle angebracht.

## C. Gasuhr.

Um die während des Versuches verbrauchte Gasmenge bestimmen zu können, passirt das Gas, welches direct von der Strassenleitung in das Versuchszimmer geführt wird, durch eine von Herrn Brunt in vorzüglicher Weise verfertigte Gasuhr $K$ Fig. 4, 5. Die Gasuhr ist derart angebracht, dass ein vor derselben stehender Beobachter durch das Photometer $P$ Fig. 6 blicken und gleichzeitig den Hahn $H$ Fig. 5 je nach Bedarf handhaben und so den Verbrauch des Gases, welches durch den Zähler zum Brenner strömt, reguliren kann. Die Axe des Zählers trägt zwei Zeiger $z$, $z'$ Fig. 5, wovon $z$ sich beständig bewegt, so lange überhaupt Gas durch den Zähler strömt, während der Zeiger $z'$ mit Hilfe der Hebelvorrichtung $N$ Fig. 5 in einem bestimmten Momente frei gemacht und wieder arretirt werden kann, so dass er sich nur während der Versuchsdauer bewegt. Mittelst der-

selben Hebelvorrichtung $N$ können gleichzeitig die Zeiger des Secundenzählers $Z$ Fig. 5, welcher auf der Gasuhr befestigt ist, in Bewegung oder zum Stillstand gebracht werden. Mit Hilfe eines Drückers lassen sich die Zeiger des Secundenzählers sogleich auf Null einstellen.

Das Zifferblatt der Gasuhr, auf dem jede Abtheilung einem Deciliter entspricht, lässt sich mit dem Gasbrenner $B$ Fig. 5 beleuchten; dieser Brenner kann mit einem Mantel verdeckt werden, damit sein Licht bei den photometrischen Beobachtungen nicht störe.

Durch die Instruction wird eine Aichung der Gasuhr für jede Woche vorgeschrieben. Zu diesem Zwecke befindet sich neben der Gasuhr der Gasometer $G$ Fig. 5. Derselbe ist mit dem Aichgefässe $A$, dem Wasserstandglase $w$, dem Wassermanometer $m$ und dem Entleerungshahne $h$ versehen; die Communication zwischen ihm und der Gasuhr wird durch den Hahn $h'$ vermittelt. Das Aichgefäss $A$ ist durch ein Glasrohr mit dem Trichter $T$ verbunden; das durch diesen Trichter in das Aichgefäss eingetretene Wasser beträgt genau 25 Liter, wenn das Niveau bei der am Glasrohre angebrachten Marke $c$ angelangt ist.

Nachdem der Gasometer $G$ mit Gas gefüllt ist, öffnet man den Hahn $h''$ und lässt nach und nach die in $A$ enthaltenen 25 Liter Wasser nach $G$ ausfliessen und das dadurch verdrängte Gas durch die Gasuhr zum Brenner unter einem Druck von $3^{mm}$ streichen. Am Ende des Versuches, der etwa eine halbe Stunde dauert, wird die Menge des durch die Gasuhr geströmten Gases an dieser abgelesen; der Unterschied der gefundenen Zahl und 25 darf $1^0/_0$, d. i. 0,25 Liter, nicht übersteigen. Es werden immer drei Versuche nach einander gemacht und daraus das Mittel genommen. Im Vorhinein muss natürlich constatirt werden, dass das Gas sonst nirgends entweichen kann.

## D. Photometer.

Das Photometer hat die Foucault'sche Einrichtung, Fig. 6, 7 und ist in der Scheidewand befestigt, welche jene Abtheilung des Versuchslokales, in dem die Lampen sich befinden, von jener sondert, in der die Gasuhr und der Gasometer stehen.

$P$ ist ein konisches Rohr, an dessen Oeffnung $o$ der Beobachter das Auge hält, $pp$ sind die über einander gelegten Glasscheiben, $rr$ ist eine metallene Röhre, welche den beiden Lampen zugewendet ist;

*w* (Fig. 3) ist eine vertikale Wand, durch welche die Röhre *rr* in zwei Abtheilungen gesondert wird; mittelst der Schraube *s* Fig. 4 und 6 lässt sich diese Scheidewand den Scheiben *pp* nähern oder von ihnen entfernen. *nn* Fig. 7 sind zwei Metallplatten, welche mit Hilfe der Schraube *s* Fig. 7 einander genähert und von einander entfernt werden können, um dadurch die Grösse der beleuchteten rechteckigen Fläche der Scheiben *pp* nach Belieben verändern und so die Gleichmässigkeit ihrer Beleuchtung sicherer beurtheilen zu können.

## E. Wage.

Ein wesentlicher Bestandtheil des Controllapparates ist die photometrische Wage, welche so zu sagen automatisch und zwar mit einer Empfindlichkeit von 1 Centigramm bei einer Gesammtbelastung von 6 Kilogrammen die Menge des in der Carcel'schen Lampe während der Versuchsdauer verbrannten Oeles angibt und gleichzeitig den Anfang und das Ende des Versuches markirt. Die Idee zu dieser photometrischen Wage rührt vom Herrn Professor Regnault her; derselbe übertrug die Ausführung dem Herrn Deleuil (Paris, 6 Rue du Pont-de-Lodi), welcher in Anfertigung von Wagen so vorzügliches leistet. Herr Deleuil entledigte sich des Auftrages in einer solchen Weise, dass an der Wage nicht nur alle Bedingungen der Richtigkeit und der nöthigen Empfindlichkeit erfüllt sind, sondern dass auch durch die Wärme der in einer Schale stehenden Carcel'schen Lampe die Arme des Wagebalkens nicht nachtheilig beeinflusst werden.

Das Interessanteste an der Wage besteht aber darin, dass durch den Wagebalken selbst, ohne die Empfindlichkeit und Beweglichkeit zu verringern, ein Hammer von etwa 10 Gramm Gewicht in Bewegung gesetzt und dadurch eine Glocke zum Tönen gebracht wird. Zu diesem Zwecke besteht die nach abwärts gekehrte Zunge aus einer Gabel (Fig. 4, 8), an welche die Nadel *d* angesetzt ist. In der Mittellinie dieser Gabel ist bei *q* eine horizontale Axe angebracht, welche einen kleinen Hammer *M'* Fig. 8 trägt, dessen Stiel etwa 6 Centimeter lang ist und der ungefähr 10 Gramm wiegt. Wird dieser Hammer in die Mittellinie der Zunge, d. i. in die Verlängerung der Spitze *d* gestellt (Fig. 4), so befindet er sich offenbar im labilen Gleichgewicht, wie ein auf die Spitze gestellter Kegel. Ist nun der Wagebalken etwas nach links geneigt und der Hammer durch eine Hemmvorrichtung gehindert nach links zu fallen, so wird letzterer alsogleich nach rechts

sich drehen, sobald der Wagebalken in seine horizontale Lage zurückgekehrt oder diese gar nach rechts zu um ein weniges überschreitet. Auf seinem Wege begegnet der Hammer mit dem Kopfe der Glocke *g* Fig. 8[1]) und bringt diese zum tönen. Nachdem der Hammer umgefallen ist, können auch keine Schwankungen des Wagebalkens eintreten.

Der linke Arm des Wagebalkens endet in eine Gabel, welche die auf der Schale befindliche Carcel'sche Lampe *L* Fig. 3, 4, 9 umfängt. An der Aufhängevorrichtung der linken Schale sind die Schälchen *ii* Fig. 3 und 9 angebracht, in welche die dem Oelverbrauche entsprechenden Gewichte gelegt werden. Durch Drehung von *C* lässt sich die Wage arretiren, wobei der Balken durch die auf beiden Seiten befindlichen Ständer *Q*, *Q* getragen wird.

---

Die beschriebenen Apparate sind in zwei von einander wohl separirten, dunkel übertünchten Zimmern untergebracht, so dass in dem einen wie die Fig. 4, 5 und 9 es zeigen, das Photometer, die Gasuhr mit dem Secundenzähler und der Gasometer, im andern aber die Wage und die beiden Lampen sich befinden. Aus Fig. 4, welche die Gesammtanordnung der Apparate repräsentirt, ist zu ersehen, dass die Instrumente auf einer massiven Eisenplatte *PP* stehen, die mit Hilfe der Schrauben *U* horizontal gestellt werden kann.

Die Figur 9 zeigt die Anordnung der Apparate in horizontaler Projection, während die Fig. 3 die Daraufsicht von Seite der Lampen darstellt.

## F. Manipulation.

Die in den Controllstuben zu verwendenden Instrumente werden vor ihrer ersten Benützung durch die Agenten der Stadt Paris und der Gascompagnie einer genauen Prüfung unterzogen. Die Controllversuche werden täglich von 8—11 Uhr Abends vorgenommen und zwar jeden Abend drei, so dass zwischen je zwei Versuchen eine Pause von einer halben Stunde verfliesst. Aus den drei Versuchen wird das Mittel genommen.

In Bezug auf die Ausführung der Versuche schreibt die Instruction folgendes vor.

---

1) Diese Figur ist in einem etwas grösseren Maassstabe gehalten.



Der Controllbeamte hat zunächst einen frischen Docht in die Carcel'sche Lampe einzuziehen und diesen genau am Niveau des Dochtträgers abzuschneiden. Hierauf ist die Lampe bis zum Anfange der Gallerie mit Oel zu füllen und aufzuziehen; der Docht wird dann bis auf 5—6 Millimeter aufgedreht und mittelst eines darüber gelegten Baumwollfadens angezündet. Nachdem der Glascylinder auf die Lampe gesetzt worden ist, wird der Docht bis zu einer Höhe von $10^{mm}$ herausgedreht und die Einschnürung des Lampenglases in einer Höhe von $7^{mm}$ über dem Niveau des Dochtes gebracht, zu welchem Zwecke sich eine Marke am Glase befindet. Der Oelverbrauch der Lampe soll in der Stunde 42 Gramm betragen, und darf weder unter 38 Gramm sinken, noch 46 Gramm übersteigen, sollen die Versuche nicht als nichtig gelten.

Man lässt sodann die Oel- und Gaslampe eine halbe Stunde lang brennen, misst sodann den Gasdruck, der innerhalb $2—3^{mm}$ schwanken soll, und stellt die Carcel'sche Lampe auf die Wage, dieselbe durch in *V* Fig. 4 gelegten Schrott soweit äquilibrirend, dass die Lampe ein kleines Uebergewicht behält. Man bringt den Hammer in die Mittellinie der Zunge und versichert sich dessen, dass die beiden Flammen in demselben Niveau und in gleicher Entfernung von der Wand, welche das Photometer trägt, sich befinden. Nachher stellt man die Zeiger der Gasuhr und des Secundenzählers auf Null und regulirt den Gasverbrauch derart, dass die beiden Hälften der photometrischen Scheiben gleich intensiv beleuchtet erscheinen. In dem Momente wo der Hammer an die Glocke schlägt, lässt der vor dem Photometer stehende Beobachter die Zeiger der Gasuhr und des Secundenzählers in Bewegung treten. Nun legt man in die Schälchen *ii* Fig. 3, 9 je 5 Gramm, bringt den Hammer wieder in seine labile Gleichgewichtslage, stellt sich dann wieder vor das Photometer und erhält, mit Hilfe des Hahnen *H* Fig. 5 den Gaszufluss regulirend, die Scheibe des Photometers in gleichförmiger Beleuchtung. Wenn der Hammer neuerdings auf die Glocke fällt, arretirt man die Zeiger der Gasuhr und des Secundenzählers und liest den Gasverbrauch, die Versuchsdauer und den Manometerstand am Gasbrenner *R* Fig. 3 ab.

Bei einem am 9. Juni 1866 in der Chambre noire Nr. 10, Rue Clovis 4, in meinem Beisein ausgeführten Versuche war die Versuchsdauer 14 Minuten 12 Secunden, und der Gasverbrauch betrug 24,3 Liter. Da der Oelverbrauch 10 Gramm betrug, so findet man

nahezu 42,2 Gramm für die Stunde. Nach dem unter A angeführten Gesetze d) folgt, dass man in einem solchen Falle, wo ein Gasbrenner mit der Carcel'schen Lampe verglichen wird und letztere während der Stunde nicht gerade 42 Gramm Oel verbraucht, mittelst einer Proportion den Gasverbrauch bestimmen kann, welcher einem stündlichen Oelverbrauche von 42 Gramm äquivalent wäre; nur darf der beobachtete Oelverbrauch nicht jenseits der Grenzen von 40 und 44 Gramm liegen, weil sonst die Rechnung falsche Resultate liefert. Für unseren Fall beträgt also der einem stündlichen Oelverbrauch von 42 Gramm äquivalente Gasverbrauch $\frac{24,3}{10} . 42 = 2,43 \times 42 = 102,06$ Liter.

## G. Prüfung des Gases auf seine Reinheit.

Um das Gas in Bezug auf seine Reinheit untersuchen zu können, befindet sich in der Kammer, worin die Lampen brennen, ein Brenner *B* Fig. 10 von gleicher Einrichtung wie der zur Bestimmung der Leuchtkraft benutzte. Derselbe ist auf einen kleinen Gasbehälter *N*, der mit einem Wassermanometer versehen ist, angebracht und durchdringt eine Platte, auf welche eine Glasglocke *C* gestellt ist. Diese Glocke communicirt oben mittelst einer bleiernen Röhre *x* mit einem Rauchfange, um dahin das Gas abzuleiten. In die Glocke hängt man einen Streifen *s* aus weissem, ungeleimten Papier, welcher mit einer Lösung von neutralem essigsauren Bleioxyd (1 Th. Salz auf 100 Th. destillirten Wassers) getränkt und dann an der Luft getrocknet worden ist. Der Papierstreifen ist $1^{cm}$ breit und $5^{cm}$ lang. Man öffnet hierauf den Hahn *L* und lässt unter einem Drucke von $2-3^{mm}$ etwa eine Viertelstunde lang, während der photometrische Versuch gemacht wird, das Leuchtgas durch die Glocke streichen. Der Papierstreifen darf sich nicht bräunen. Wird der Papierstreifen gebräunt, so muss noch ein Versuch gemacht, und einer der Streifen mit dem Datum und dem Namen des Controllbeamten versehen im Bureau aufbewahrt, der zweite aber in gleicher Weise beschrieben an den Director der öffentlichen Arbeiten von Paris abgeschickt werden.

---

# Ueber das Minimum der prismatischen Ablenkung eines Lichtstrahls.

Von

**Dr. K. L. Bauer,**

Assistent der Physik am Polytechnikum zu Carlsruhe.

Dem für die Bestimmung der Brechungsexponenten so wichtigen Satze über das Minimum der prismatischen Ablenkung eines Lichtstrahls ist selbst in unsern besten Lehrbüchern der Physik bisher ein eigenthümliches Schicksal widerfahren. In einigen derselben, wie in denen von Mousson und Eisenlohr ist der Beweis des erwähnten Theorems ganz fortgelassen; in den Lehrbüchern von Quintus Icilius und Wüllner ist die Beweisführung zwar überaus kurz und einfach, beruht aber offenbar auf Trugschlüssen; das Werk von Müller-Pouillet gibt einen nicht hinreichend allgemeinen Nachweis. Ferner ist der in Gehler's physic. Wörterbuch (Art. Prisma) gegebene Beweis, der unter andern auch in Wilde's Geschichte der Optik sich findet, obgleich mit Hilfe höhern Calculs geführt, über Gebühr unbehilflich und umständlich; ähnliches gilt von dem elementaren Beweise Bary's (Ann. de Chimie et de Phys. XLVII. 88 und Pogg. Ann. XXVI. 170); Newton's synthetische Demonstration (Lect. opt., prop. 25) ist wiederum nach Bary's Bemerkung langwierig und beschwerlich. Unter diesen Umständen dürfte es nicht überflüssig erscheinen, eine Notiz darüber zu geben, wie der Beweis, selbst elementar, mit wenig Rechnungsaufwand und auf natürliche, einfache Weise geführt werden kann.

## I.

Die Winkel, welche die drei auf einander folgenden Richtungen des Strahls mit den durch beide brechende Flächen des Prismas gezogenen Einfallslothen bilden, mögen mit $\alpha$, $\beta$, $\beta'$, $\alpha'$ bezeichnet sein; $A$ bedeute die prismatische Ablenkung und $b$ den brechenden Winkel. Nun besteht zunächst die Gleichung

$$1)\quad A = (\alpha - \beta) + (\alpha' - \beta')$$

welche aussagt, dass die Gesammtablenkung des Strahls durch das Prisma der Summe der Ablenkungen an beiden brechenden Flächen gleichkommt. Um daher die Grösse $A$ näher zu untersuchen, wird es passend sein, sich erst von der Ablenkung an einer einzelnen Fläche genaue Rechenschaft zu geben. Es dient dazu eine der Gleichungen

$$2)\quad \sin\alpha = n \sin\beta\ ;\ \sin\alpha' = n \sin\beta',$$

worin der Brechungsexponent $n > 1$ ist, wenn die Substanz des Prismas, wie hier vorausgesetzt werden soll, stärker brechend ist, als das umgebende Mittel. Unmittelbar ist nun klar, dass wenn wir von $\beta = 0$ zu stets grössern $\beta$ übergehen, auch $\alpha$, von 0 ausgehend, mehr und mehr wächst. Der grösste für $\beta$ zulässige Werth bestimmt sich durch die Gleichung $\sin\beta = \frac{1}{n}$, welche den sogen. Grenzwinkel liefert, von welchem ab die totale Reflexion an Stelle der Brechung tritt. Um jetzt die durch eine Aenderung von $\beta$ bedingte Aenderung von $\alpha$ sorgfältiger zu erforschen, bildet der mit der Differentialrechnung Vertraute den Differentialquotienten $\frac{d\alpha}{d\beta}$ und erhält aus 2):

$$\frac{d\alpha}{d\beta} = n \cos\beta : \cos\alpha = n \cos\beta : \sqrt{1 - n^2 \sin^2\beta}$$
$$= n \cos\beta : \sqrt{\cos^2\beta - (n^2 - 1)\sin^2\beta}.$$

Diess gibt das einfache Resultat:

$$3)\quad \frac{d\alpha}{d\beta} = n : \sqrt{1 - (n^2 - 1)\ \mathrm{tg}^2\beta}.$$

Die Wurzelgrösse ist natürlich im absoluten Sinn zu nehmen, und damit dieselbe reell bleibe, muss als Maximum von $\beta$ der Werth festgesetzt werden, welcher aus der Gleichung $\mathrm{tg}^2\beta = 1 : n^2 - 1$ folgt; dieselbe stimmt überein mit der einfachern $\sin\beta = \frac{1}{n}$ und liefert den uns bereits bekannten Grenzwinkel. Der überaus leicht zu beurtheilende Ausdruck in 3) sagt uns nun, dass der (positive) Werth des Differentialquotienten $\frac{d\alpha}{d\beta}$ gleichzeitig mit $\beta$ wächst. Diess gibt das bemerkenswerthe Resultat:

Wenn wir jeden von verschiedenen Winkeln $\beta$ um eine und die nämliche Grösse sich ändern lassen, so dass hierdurch eine Reihe neuer zwischen $0^0$ und dem Grenzwinkel eingeschlossener Winkel entsteht, so erfährt in Folge

dessen der zum grössten $\beta$ gehörige Winkel $\alpha$ die grösste Aenderung.

Dieses Theorem lässt sich auch auf elementare Weise ableiten, wie folgt. Bedeutet $\zeta$ den Zuwachs des $\alpha$, welcher durch eine Vergrösserung des entsprechenden $\beta$ und $\varepsilon$ eintritt, so bestehen gleichzeitig die zwei Gleichungen:

$$\text{I. } \sin\alpha = n\sin\beta; \quad \text{II. } \sin(\alpha+\zeta) = n\sin(\beta+\varepsilon).$$

Entwickelt gibt die letztere Formel

$$\sin\alpha\cos\zeta + \cos\alpha\sin\zeta = n(\sin\beta\cos\varepsilon + \cos\beta\sin\varepsilon),$$

und falls nur $\varepsilon$ und $\zeta$ klein genug genommen werden, mit einem beliebigen Grade der Annäherung

$$\sin\alpha + \zeta\cos\alpha = n(\sin\beta + \varepsilon\cos\beta).$$

Subtrahirt man hiervon Gleichung I, so erhält man:

$$\zeta\cos\alpha = \varepsilon n\cos\beta$$

$$\frac{\zeta}{\varepsilon} = n\cos\beta : \cos\alpha = n : \sqrt{1-(n^2-1)\operatorname{tg}^2\beta},$$

und bei constantem $\varepsilon$ ist nun $\zeta$ offenbar um so grösser, je grösser $\beta$ ist.

Mit Hilfe dieses Satzes ist es nun sehr leicht, sich auch über die prismatische Ablenkung klaren Aufschluss zu verschaffen. Vorher ist es übrigens passend, der Gleichung 1) eine etwas einfachere Gestalt zu verleihen. Man erkennt leicht, dass die Winkelsumme $\beta+\beta'$ unveränderlich gleich dem brechenden Winkel des Prismas ist, also

$$4)\quad \beta+\beta' = b; \quad 5)\quad A = \alpha+\alpha'-b.$$

Würden wir jetzt $\beta$ in $\beta\pm\varepsilon$ und demgemäss $\beta'$ in $\beta'\mp\varepsilon$ übergehen lassen, so würden zwei neue Werthe $A_1$ und $A_2$ der Ablenkung resultiren, und zwar würden wir uns mit Hilfe des in 3) ausgesprochenen Satzes ohne Mühe überzeugen, dass so lange $\beta$ und $\beta'$ von einander verschieden sind, je nach den Umständen eine der Ungleichungen $A_1 < A < A_2$, oder $A_2 < A < A_1$ besteht, dass es also möglich ist, durch passende Aenderungen von $\beta$ die Ablenkung $A$ sowohl zu vermehren als zu vermindern. Anders gestaltet sich jedoch die Sache, wenn wir speciell $\beta = \beta' = \beta_0$, somit $\alpha = \alpha' = \alpha_0$, $A = A_0$ und

$$6)\quad 2\beta_0 = b; \quad 7)\quad A_0 = 2\alpha_0 - b$$

werden lassen. Geht jetzt der erste der Winkel $\beta_0$ in $\beta_0\pm\varepsilon$ und daher der zweite Winkel $\beta_0$ in $\beta_0\mp\varepsilon$ über, so können wir, je nachdem die obern oder untern Zeichen berücksichtigt werden, für den ersten der Winkel $\alpha_0$ den Werth $\alpha_0+\lambda$, oder $\alpha_0-\varrho$ und für den

zweiten den Werth $\alpha_0 - \varrho$ oder $\alpha_0 + \lambda$ eintreten lassen, so dass die neuen Ablenkungen $A_1$ und $A_2$ bestimmt sind durch die Formeln:

$$A_1 = (\alpha_0 + \lambda) + (\alpha_0 - \varrho) - b = A_0 + \lambda - \varrho$$
$$A_2 = (\alpha_0 - \varrho) + (\alpha_0 + \lambda) - b = A_0 + \lambda - \varrho.$$

In diesem besondern Falle haben also die Grössen $A_1$ und $A_2$ einen und denselben gemeinschaftlichen Werth, und es fragt sich nur noch, ob derselbe grösser oder kleiner als der von $A_0$ ist. Dies ergibt sich sehr leicht aus der Bedeutung der Grössen $\lambda$ und $\varrho$. Wir wissen nämlich: wenn jeder der Winkel $\beta_0 - \varepsilon$ und $\beta_0$ sich um den gleichen Betrag $\varepsilon$ vergrössert, so wachsen die zugehörigen Winkel $\alpha_0 - \varrho$ und $\alpha_0$ bezüglich um $\varrho$ und $\lambda$. Hieraus folgt nach 3) dass $\lambda > \varrho$ und $A_1 = A_2 > A_0$ ist. Man mag also den Winkel $\beta_0$ vermindern, oder vermehren, so bewirkt man jedesmal, dass $A_0$ wächst, d. h. $A_0$ ist das Minimum der prismatischen Ablenkung.

Aus den Gleichungen 6) und 7) zieht man für $\alpha_0$ und $\beta_0$ die Werthe

$$\alpha_0 = \tfrac{1}{2}(b + A_0) \;\; ; \;\; \beta_0 = \tfrac{1}{2} b$$

und hiermit gelangt man zu der bekannten wichtigen Formel für den Brechungsexponenten:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'} = \frac{\sin\alpha_0}{\sin\beta_0} = \frac{\sin\frac{1}{2}(b + A_0)}{\sin\frac{1}{2}b}.$$

## II.

Ich werde noch zeigen, wie sich der in Gehler's phys. Wörterb. gegebene Beweis bedeutend vereinfachen lässt. Der Gang jener Demonstration ist derjenige, den die Analysis bei Aufsuchung der Maxima und Minima von Ausdrücken mit veränderlichen Grössen in der Regel einzuschlagen pflegt. Die unter 2) und 4) aufgestellten Gleichungen lassen auf's Deutlichste erkennen, dass durch Einen der vier Winkel $\alpha$, $\beta$, $\beta'$, $\alpha'$ stets die drei andern bestimmt sind. Es ist sonach klar, dass wir uns $A$ als Function von $\beta$ allein denken können, und die Frage über Maxima und Minima dieser Function wird sich mit Hilfe der Ausdrücke für $\frac{dA}{d\beta}$ und $\frac{d^2A}{d\beta^2}$ entscheiden lassen. Zunächst ist wegen 4):

$$8) \quad \frac{d\beta'}{d\beta} = -1.$$

Ferner erhalten wir aus 5):

$$\frac{dA}{d\beta} = \frac{d\alpha}{d\beta} + \frac{d\alpha'}{d\beta'} \cdot \frac{d\beta'}{d\beta},$$

oder in Hinsicht auf 8):

$$9) \quad \frac{dA}{d\beta} = \frac{d\alpha}{d\beta} - \frac{d\alpha'}{d\beta'}.$$

Durch nochmalige Differentiation nach $\beta$ und abermalige Anwendung von 8) ergibt sich entsprechend:

$$10) \quad \frac{d^2A}{d\beta^2} = \frac{d^2\alpha}{d\beta^2} + \frac{d^2\alpha'}{d\beta'^2}.$$

Um also die Werthe für $\frac{dA}{d\beta}$ und $\frac{d^2A}{d\beta^2}$ zu bilden, reicht die Kenntniss von $\frac{d\alpha}{d\beta}$ und $\frac{d^2\alpha}{d\beta^2}$ aus, da die Differentialquotienten $\frac{d\alpha'}{d\beta'}$ und $\frac{d^2\alpha'}{d\beta'^2}$ hieraus durch blosse Accentuirung der Winkel entstehen. Den Ausdruck für den ersten Differentialquotienten $\frac{d\alpha}{d\beta}$ kennen wir bereits aus 3) wornach

$$3') \quad \frac{d\alpha}{d\beta} = \frac{n \cos\beta}{\cos\alpha} = n : \sqrt{1 - (n^2 - 1) \operatorname{tg}^2\beta}.$$

Durch Differentiation dieser Gleichung nach $\beta$ verwandelt sich dieselbe zunächst in:

$$\frac{d^2\alpha}{d\beta^2} = \frac{-n\cos\alpha\sin\beta + n\cos\beta\sin\alpha\,\frac{d\alpha}{d\beta}}{\cos^2\alpha}$$

und nimmt dann, wenn rechter Hand Zähler und Nenner mit $\cos\alpha$ multiplicirt wird, bei gleichzeitiger Berücksichtigung von 2) und 3'), ferner die Gestalt an

$$\frac{d^2\alpha}{d\beta^2} = \frac{\sin\alpha\,(n^2\cos^2\beta - \cos^2\alpha)}{\cos^3\alpha} = \frac{\sin\alpha\,(n^2\cos^2\beta - 1 + n^2\sin^2\beta)}{\cos^3\alpha}.$$

Dies ist aber gleichbedeutend mit dem höchst einfachen Resultat:

$$11) \quad \frac{d^2\alpha}{d\beta^2} = \frac{(n^2 - 1)\sin\alpha}{\cos^3\alpha}.$$

Zufolge dieser Ausdrücke gehen jetzt die Gleichungen 9) und 10) über in:

$$12) \quad \frac{dA}{d\beta} = n\left\{\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} - \frac{\cos\beta'}{\cos\alpha'}\right\}$$

$$= n\left\{\frac{1}{\sqrt{1-(n^2-1)\operatorname{tg}^2\beta}} - \frac{1}{\sqrt{1-(n^2-1)\operatorname{tg}^2\beta'}}\right\}$$

$$13)\quad \frac{d^2 A}{d\beta^2} = (n^2 - 1)\left\{\frac{\sin\alpha}{\cos^3\alpha} + \frac{\sin\alpha'}{\cos^3\alpha'}\right\}.$$

Die Bedingung $\frac{dA}{d\beta} = 0$ wird nun offenbar erfüllt durch $\beta = \beta' = \beta_0$, und mithin $\alpha = \alpha' = \alpha_0$, $\frac{d^2 A}{d\beta^2} = 2\,(n^2 - 1)\,\frac{\sin\alpha_0}{\cos^3\alpha_0}$, welcher letztere Werth stets positiv ist und daher beweist, dass es sich im vorliegenden Falle nur um ein Minimum von $A$ handeln kann.

Carlsruhe, 5. Januar 1867.

---

# Ueber die Brechung des Lichts, zugleich als Anhang zu der vorausgehenden Notiz über das Minimum der prismatischen Ablenkung.

Von

Dr. K. L. Bauer.

Nach dem Snellius'schen Gesetze besteht zwischen dem Einfallswinkel $\alpha$ und dem Brechungswinkel $\beta$ die Gleichung $\sin\alpha = n \sin\beta$. Manchmal nun ist die Kenntniss einfacher Ausdrücke für die Differentialquotienten $\frac{d\alpha}{d\beta}$, $\frac{d^2\alpha}{d\beta^2}$, $\frac{d\beta}{d\alpha}$, $\frac{d^2\beta}{d\alpha^2}$ von Vortheil; es sei mir daher gestattet, dieselben hier übersichtlich zusammenzustellen und einige Bemerkungen hinzuzufügen.

$$1)\quad \sin\alpha = n\sin\beta$$

$$2)\quad \frac{d\alpha}{d\beta} = \frac{n\cos\beta}{\cos\alpha} = n : \sqrt{1-(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\beta} = \sqrt{n^2+(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\alpha}$$

$$3)\quad \frac{d^2\alpha}{d\beta^2} = \frac{(n^2-1)\sin\alpha}{\cos^3\alpha}$$

$$4)\quad \frac{d\beta}{d\alpha} = \frac{\cos\alpha}{n\cos\beta} = \frac{1}{n}\sqrt{1-(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\beta} = 1:\sqrt{n^2+(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\alpha}$$

$$5)\quad \frac{d^2\beta}{d\alpha^2} = -\frac{(n^2-1)\sin\beta}{n^2\cos^3\beta}.$$

Was die Ableitung dieser Gleichungen betrifft, so möge folgendes bemerkt sein. Man bilde zunächst die Ausdrücke für $\frac{d\alpha}{d\beta}$, indem man $\frac{n\cos\beta}{\cos\alpha}$ entweder setzt

$$= n\cos\beta : \sqrt{1-n^2\sin^2\beta} = n\cos\beta : \sqrt{\cos^2\beta-(n^2-1)\sin^2\beta} \text{ oder}$$

$$= \sqrt{n^2-\sin^2\alpha} : \cos\alpha = \sqrt{n^2\cos^2\alpha+(n^2-1)\sin^2\alpha} : \cos\alpha;$$

sodann findet man $\frac{d^2\alpha}{d\beta^2}$ am einfachsten nach der Vorschrift $\frac{d^2\alpha}{d\beta^2} =$

$\frac{d\left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\beta}$, indem man sich des letzten Ausdruckes in 2) bedient. Die Werthe unter 4) und 5) resultiren hierauf aus den analogen in 2) und 3) auf doppelte Weise, einmal nämlich nach den bekannten Formeln:

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = 1 : \frac{d\alpha}{d\beta}\,;\; \frac{d^2\beta}{d\alpha^2} = -\frac{d^2\alpha}{d\beta^2} : \left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)^3,$$

ausserdem aber auch sehr einfach dadurch, dass man wegen 1) in den Ausdrücken 2) und 3) den Winkel $\alpha$ mit $\beta$ und gleichzeitig den Index $n$ gegen $\frac{1}{n}$ vertauscht.

Eine Anwendung der oben aufgestellten einfachen Beziehungen ist in der vorausgehenden Notiz über das Minimum der prismatischen Ablenkung bereits gegeben; auch wird man finden, dass daselbst noch einige, jedoch unwesentliche Vereinfachungen hätten Platz greifen können, wenn statt des Ausdruckes $n : \sqrt{1-(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\beta}$ der gleichbedeutende $\sqrt{n^2+(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\alpha}$ eingeführt und zur Ableitung von $\frac{d^2\alpha}{d\beta^2}$ die oben gegebene Vorschrift benützt worden wäre.

Ich füge jetzt noch eine kleine, nahe liegende Anwendung hinzu. Hat der brechende Winkel $b$ des Prismas den besondern Werth 0, so folgt hieraus successive $\beta = -\beta'$, $\alpha = -\alpha'$, $A = 0$; d. h. wenn ein Lichtstrahl ein zwischen parallelen Ebenen eingeschlossenes Medium passirt, so erleidet er keine Richtungsänderung, — ein Satz, den man bekanntlich auch sehr leicht direct ableitet. Wohl aber tritt in diesem Falle eine Verschiebung $v$ des Strahls parallel zu der Einfallsrichtung ein, und zwar ist die Grösse derselben gegeben durch

$$v = \frac{\delta}{\cos\beta}\sin(\alpha-\beta),$$

wenn $\delta$ die Distanz der parallelen Begrenzungsebenen bedeutet. Hierfür kann man auch schreiben

$$v = \delta\sin\alpha\left\{1-\frac{\cos\alpha}{n\cos\beta}\right\} = \delta\sin\beta\left\{n-\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\right\},$$

oder, wenn man die in 4) angegebenen Ausdrücke benutzt

$$\begin{aligned} v &= \delta\sin\beta\left\{n-\sqrt{1-(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\beta}\right\} \\ &= \delta\sin\alpha\left\{1-1:\sqrt{n^2+(n^2-1)\,\mathrm{tg}^2\alpha}\right\} \end{aligned}$$

und nun erkennt man klar, dass die Verschiebung $v$ gleichzeitig mit den Grössen $\vartheta$, $\alpha$, $\beta$, $n$ wächst. Es ist also keineswegs nöthig, um zu diesem Resultat zu gelangen, sich, wie es z. B. Mousson gethan, mit dem ungenügenden Näherungswerthe $v = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \vartheta \sin \alpha$ zu behelfen.

Schliesslich wird man noch wahrgenommen haben, dass die Verschiebung $v$ in einer gewissen Beziehung zu dem Differentialquotienten $\frac{d\beta}{d\alpha}$ steht, indem die Gleichung existirt:

$$v = \vartheta \sin \alpha \left\{1 - \frac{d\beta}{d\alpha}\right\} = \vartheta \sin \alpha \frac{d(\alpha - \beta)}{d\alpha}.$$

Carlsruhe, im Januar 1867.

# Beschreibung eines Chronographen.

Von

**Francis Bashforth,**

Professor der angewandten Mathematik an der Artillerieschule zu Woolwich.

(Hiezu Tafel IV, Fig. 3—8.)

**Die folgende Mittheilung ist ein Auszug aus der vom Herrn Verfasser gütigst eingesandten Schrift: „Description of a Chronograph, adapted for measuring the varying velocity of a body in motion through the air and for other purposes. An Extract from the Proceedings of the Royal Artillery Institution. Woolwich.**

Professor Wheatstone wandte die Electricität an, um die Geschwindigkeit von Geschützkugeln zu messen und zwar im Jahre 1840. Nachher wurden an seinem Instrumente einige Veränderungen vorgenommen. Zeichnungen davon waren im Mai 1841 zu Paris ausgestellt und eine Copie desselben für den Oberst Konstantinoff vorbereitet; allein dieser wünschte ein Instrument, womit die Geschwindigkeit einer Kugel in verschiedenen Puncten ihrer Bahn gemessen werden könnte. Breguet construirte nachher ein Instrument für diesen Zweck, auf dessen Ausführung wir unten zurückkommen werden. Dies gab zu einer Polemik zwischen Professor Wheatstone und Breguet bezüglich ihrer Ansprüche der Erfindung des Chronographen Veranlassung. Pouillet versuchte kurze Zeitintervalle mittelst der Voraussetzung zu bestimmen, dass die Ablenkung einer Magnetnadel der Stärke eines galvanischen Stromes und der Zeit proportional sei, während welcher der Strom auf sie einwirkt. Hipp widersetzte sich der Wheatstone'schen Anordnung und wandte eine gleichförmig gehende Uhr zur Zeitmessung an. Es scheint nicht, dass irgend einer dieser Chronographen in allgemeinen Gebrauch gekommen ist, oder dass sie weittragendere Resultate geliefert haben.

Das electro-ballistische Pendel des Major Navez wurde um's Jahr 1848 erfunden, gelangte jedoch erst im Jahre 1855 zur allgemeinen

Kenntniss. Ueber den Werth des Instrumentes würden sehr verschiedene Meinungen ausgedrückt. Die Amerikaner probirten es und verwarfen es wegen der Unregelmässigkeit seiner Angaben. Die Franzosen gebrauchten es in den Jahren 1856, 1857 und 1858 in Metz zur Vervollständigung ihrer Untersuchungen über den Widerstand der Luft. Andere, welche das Instrument gebrauchten, haben sich sehr für seine grosse Genauigkeit ausgesprochen.

Das electro-ballistische Pendel besteht aus einem kurzen Pendel, das um eine horizontale Axe in einem Winkel von 75⁰ auf jeder Seite der durch den Aufhängungspunct gehenden Verticalen schwingt. Vor dem Versuche wird die Linse in ihre höchste Lage an einer Seite gehoben und daselbst durch die Anziehung eines Electromagneten festgehalten, dessen Magnetismus von einem galvanischen Strome erzeugt wird, der so angebracht ist, dass die Kugel, wenn sie an dem ersten Schirme ankommt, den Draht, durch welchen der galvanische Strom ging, zerreisst und dadurch die Linse freilässt. Sowie die Kugel an einen zweiten Schirm gelangt, unterbricht sie einen zweiten galvanischen Strom und verrichtet so die Wirkung eines zweiten Electromagneten, der bis dahin ein kleines Gewicht getragen hatte. Dieses Gewicht fällt nun wieder und schliesst bei seinem Falle einen dritten galvanischen Strom, der auf einen dritten Electromagneten einwirkt, und stellt so einen kleinen Index ein, der mit dem Pendel von seiner Ruhelage aus mitgegangen war. Sodann wird die Ablesung des Index vorgenommen und gibt den Winkel an, welchen das Pendel zurückgelegt hatte, als der dritte galvanische Strom geschlossen wurde. Von Zeit zu Zeit wurde ein Instrument gebraucht, welches zugleich den ersten und zweiten galvanischen Strom unterbrach, um damit die vom Gewichte zurückgelegte, sowie die zur Einwirkung der Electromagnete erforderliche Zeit zu bestimmen. Ein Instrument kann nur ein kleines Zeitintervall messen. Die zum Beschreiben der verschiedenen Bogen am Instrumente erforderlichen Zeiten wurden theoretisch berechnet, wobei die Reibung, Temperatur und der Luftwiderstand ausser Acht gelassen wurden, und hängen von der beobachteten Zeit einer mathematisch kleinen Oscillation des Pendels ab. Major Navez gibt an, dass nicht weniger als 1500 Schwingungen genommen werden sollen. Nehmen wir an, dass davon drei auf die Secunde gehen, so nimmt dieses Experiment 500 Secunden oder $8^1/_2$ Minuten in Anspruch, eine ungemein kurze Zeit, um an einem genauen Zeitmesser den bestimmten

Theil richtig anzugeben. Wenn auch die 1500 hinlänglich kleinen Vibrationen genau der Reihe nachgezählt wurden, und wenn auch die Zeit an einem guten Chronometer notirt wurde, so wird doch am Anfang und Ende der Zählung ein mehr oder weniger grosser Fehler hereinkommen. Werden die Schwingungen zwei oder mehrere Male gezählt, so werden zweimal so viele kleine Fehler vorhanden sein. Die Schirme bestehen aus feinem Kupferdraht, durch welchen der galvanische Strom circulirt. Der Draht ist fein, um die Bewegung der Kugel nicht zu stören und von Kupfer wegen der guten Leitungsfähigkeit dieses Metalles für den Strom. Allein Kupferdraht biegt sich sehr, bevor er reisst. Dabei wirkt auch der die Kugel begleitende Windstrom gegen die Gleichförmigkeit ihrer Spannung. Daraus ergeben sich gegen dieses Instrument folgende Einwürfe:

1) Das veränderliche und complicirte Arrangement der galvanischen Ströme.
2) Die nicht genügend genaue Zeitbestimmung.
3) Die Drähte der Schirme werden gewiss meistens ungleich gebogen.
4) Das Instrument gibt keine Mittel an die Hand, die Genauigkeit seiner Angaben zu controlliren.
5) Die Nothwendigkeit, zwei oder mehrere unabhängige Instrumente anwenden zu müssen, um den Luftwiderstand zu finden.

Einige dieser Einwürfe können vielleicht beseitigt werden, die beiden letztern scheinen jedoch nicht umgangen werden zu können.

Kürzlich wurde ein electro-ballistischer Chronograph von Boulengé, Lieutenant der Artillerie, erfunden, welcher von Melsens, Mitgliede der kgl. belgischen Academie geprüft und mit dem electroballistischen Pendel des Major Navez verglichen wurde. Es wurden hierbei Versuche mit verschiedenen Pulversorten gemacht. Die Geschwindigkeit des nämlichen Projectiles wurde an beiden Instrumenten für einen 35 Meter vom Geschütze entfernten Punct gemessen.[1]) Die folgende Tabelle gibt die mittleren Geschwindigkeiten von 5 oder 6 Schüssen für jede Pulversorte in Meter-Secunden, wie sie an beiden Instrumenten gemessen wurden.

1) Melsens, Rapport sur un Chronograph 1864.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Navez . . . | 373,9 | 376,1 | 369,6 | 371,0 | 367,1 |
| Boulengé . . | 367,9 | 366,6 | 368,2 | 366,8 | 361,4 |
| Unterschied | —6,0 | —9,5 | —1,4 | —4,2 | —5,7 |
| Navez . . . | 375,1 | 368,7 | 359,1 | 352,7 | 369,7 |
| Boulengé . . | 369,7 | 364,9 | 355,9 | 346,0 | 365,2 |
| Unterschied | —5,4 | —3,8 | —3,2 | —6,7 | —4,5 |
| Navez . . . | 368,2 | 366,7 | 351,4 | | |
| Boulengé . . | 364,8 | 366,7 | 353,4 | | |
| Unterschied | —3,4 | 0,0 | +2,0. | | |

Verwandelt man die Unterschiede der Mittel aus den Geschwindigkeiten, wie sie an beiden Instrumenten erhalten wurden, in Fuss-Secunden, so werden sie:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| — 19,7 | — 31,2 | — 4,6 | — 13,8 | — 18,7 |
| — 17,7 | — 12,5 | — 10,5 | — 22,0 | — 14,8 |
| — 11,2 | 0,0 | + 6,6. | | |

Diese Abweichungen sind jedenfalls zu gross, um für die beiden Instrumente einige Genauigkeit in Anspruch nehmen zu können.

Nach einer genauen Betrachtung aller hierher gehörigen Umstände ergab sich, dass die folgenden Bedingungen bei einem Chronographen erfüllt sein müssen, welcher vollständiges Vertrauen verdienen soll:

1) Muss die Zeit an einer gleichförmig gehenden Uhr gemessen werden.
2) Das Instrument muss fähig sein, die Zeiten zu messen, welche verfliessen, während eine Kanonenkugel über wenigstens neun gleiche Zwischenräume der Reihe nach wegfliegt.
3) Das Instrument muss die längste bekannte Zeit der Schussweite einer Kugel oder Bombe messen lassen.
4) Jeder Uhrschlag muss durch eine Unterbrechung des nämlichen galvanischen Stromes und unter genau gleichen Umständen markirt werden.
5) Die Zeit des Vorüberganges über einen Schirm muss durch die momentane Unterbrechung eines zweiten galvanischen Stromes und unter genau den gleichen Umständen markirt werden.
6) Müssen Vorsichtsmaassregeln getroffen werden, dass die Bänder oder Drähte der Schirme in einer gleichmässigen Spannung gehalten werden, trotz der Kraft des die Kugel begleitenden Windes oder Luftzuges.

Mit Bezugnahme auf diese Puncte wurde der im Folgenden beschriebene Chronograph construirt. Fig. 3 Taf. IV ist eine Darstellung des Chronographen im Allgemeinen. *A* ist ein um eine verticale Axe drehbares Schwungrad, das an dieser Axe auch den Cylinder *K* mitführt, der mit präparirtem Papier für die Markirungen der Uhrangaben und Schirmunterbrechungen überzogen ist. Die Länge des Cylinders beträgt 12—14 Zolle und der Durchmesser 4 Zolle. *B* ist ein gezahntes Rad, welches mit dem Räderwerke *M* in Verbindung steht, so dass die Schnur *CD* auf der Trommel desselben langsam aufgewickelt wird. Das andere Ende von *CD* ist an der Platte *S* befestigt, und diese sinkt so langsam am Schlitten *L* herab, etwa $^1/_4$ Zoll bei jeder Umdrehung des Cylinders. *E*, *E'* sind Electromagnete; *d*, *d'* sind Rahmen, welche die Anker tragen, und *f*, *f'* sind die Enden von Federn, welche der Anziehung der Electromagnete entgegenwirken. Ist der Strom in einem Schliessungskreise, etwa *E*, unterbrochen, so ist der Magnetismus des Electromagneten vernichtet, die Feder *f* führt den Anker zurück, welcher mittelst des Armes *a* dem Hebel *b* einen Stoss versetzt. Dadurch wird der Markirstift *m'* gezwungen, von der Spirale, die er beschreibt, abzugehen. Wird der Strom wieder geschlossen, so wird der Anker angezogen und dadurch der Markirstift *m* zurückgezogen und fährt nun fort, seine Spirale zu beschreiben, wie wenn nichts vorgefallen wäre. *E'* steht mit der Uhr in Verbindung und sein Markirstift *m'* gibt die Secunden; *E* ist mit den Schirmen verbunden und markirt so den Durchgang der Kugel über die Schirme. Vergleicht man die von *m* und *m'* gemachten Marken, so kann die genaue Geschwindigkeit des Geschosses in allen Puncten seiner Bahn berechnet werden. Der Schlitten *L* ist mittelst der Träger *G*, *H* parallel zu *F* und dem Cylinder *K* befestigt. *Y* ist eine Schraube, womit das Räderwerk *M* zurückgezogen werden kann; der Griff *J* dient dazu, die Distanz zwischen *M* und *B* zu reguliren. Durch das Senken des Hebels *h* werden die zwei Federn *s*, welche wie Hebel wirken, angezogen und so die Diamantspitzen *m*, *m'* auf das Papier herab gebracht. Soll ein Experiment gemacht werden, so ist dafür zu sorgen, dass die beiden Ströme vollständig geschlossen seien. Das Schwungrad *A* wird mit der Hand in Bewegung gesetzt, so dass es etwa drei Umdrehungen in 2 Secunden zurücklegt. Die Markirstifte *m*, *m'* werden auf das Papier herab gebracht und nach vier oder fünf Uhrschlägen das Signal zum Abfeuern gegeben, so dass nach etwa

10 Secunden der Versuch beendigt und das Instrument für einen andern bereit ist.

Fig. 4 zeigt einen der Markirstifte in wirklicher Grösse und zugleich die Art und Weise, wie derselbe bewegt wird. Die Senkung des Hebels *h* (Fig. 3) hebt *p* und damit den Hebel *s*, der aus einer Uhrfeder verfertigt ist, bringt *m'* auf das Papier herunter und hält es sanft in Berührung. Diese Bewegung hat im Kreise *k* um eine Axe *CD* statt. *a'* ist ein mit dem Electromagneten verbundener Arm. Ist der Magnetismus in *E'* vernichtet, so fängt *a'* an sich wegzubewegen, und wenn es sich eine kurze Distanz bewegt hat, so gibt es dem Hebel *b'* einen heftigen Stoss, welcher es so weit führt als es die Höhlung in dem Stücke *c'* gestattet. Der Hebel *b'* ist mit dem Kreise *k* fest verbunden, welche sich um eine Axe *AB* drehen kann. Die Bewegung wird auf *m* übertragen, welches einen ganz kleinen Kreisbogen um einen auf der Linie *AB* gelegenen Punct beschreibt. Die Anordnung ist so getroffen, dass, wenn einer der Markirstifte *m*, *m'* eine Aufzeichnung macht, eine Bewegung theils nach der Richtung der Bewegung des darunter befindlichen Papiers, theils in einer dazu senkrechten Richtung statthat.

Die so erhaltenen Markirungen können an einer Scale mit grosser Genauigkeit abgelesen werden.

Das Pendel einer Halbsecundenuhr trifft nach jedem Doppelschlage eine sehr leichte Feder und unterbricht so den galvanischen Strom bei *E'* einmal in der Secunde.

Figg. 5 und 6 zeigen die Details der Schirme. Fig. 5 zeigt ein Stück Brett, 1 Zoll dick und 6 bis 7 Zolle breit und etwa länger als die Breite des damit gebildeten Schirmes. Querlaufende Rinnen sind in gleichen Distanzen, die übrigens etwas kleiner als der Durchmesser der Kugel sind, angebracht, wie aus der Figur zu ersehen ist.

Hacken von hartem, messingenen Federdrahte (Nr. 14 oder 15) sind mit ihren Spitzen in der Verlängerung der Rinnen befestigt. Stücke von Kupferblech sind vorgerichtet, welche zwei elliptische Löcher haben, bei welchen die Distanz ihrer Mittelpuncte gleich der Distanz der Rinnen ist. Die Kupferstücke *A* dienen dazu, um jeden Draht, wie *C* mit dem ihm benachbarten an jeder Seite zu verbinden. In Fig. 6 zeigen *a*, *c*, *e*, *g* etc. diese Kupferverbindungen an Ort und Stelle gebracht, wie sie unten die federnden Drähte halten, welche, wenn sie frei sind, in Berührung mit dem oberen Theile der Löcher

stehen; sind sie dagegen gehörig angezogen, so bleiben sie am unteren Ende der Löcher. So bildet das Kupferstück *c* eine Verbindung zwischen den Hacken *b* und *d*; das Kupferstück *e* verbindet *d* und *f* und so fort. Ein galvanischer Strom wird also den folgenden Weg durchlaufen, es mögen die Federdrähte angezogen sein oder nicht: Kupfer *a*, Arm *b*, Kupfer *c*, Arm *d*, Kupfer *e*, Arm *f*, Kupfer *g* etc. Der Strom wird nun unterbrochen, wenn einer oder mehrere Drähte zerrissen sind und die entsprechende Feder vom unteren zum oberen Ende des Loches geht. Für die vollständige Registrirung einer solchen Unterbrechung ist etwa $\frac{1}{60}$tel Secunde erforderlich; die Feder legt dabei einen Weg von einem halben Zolle zurück. Das Brett *B* ist den Gewichten gegenüber aufgestellt, theils um zu verhindern, dass sie von der Kugel vorwärts geführt werden, vorzüglich aber um ein Aufdrehen der die Gewichte tragenden Stricke zu verhüten. Die angewandten Gewichte wogen 2 Pfund und der sie tragende wollene Strick konnte ein Gewicht von etwa 3 Pfunden tragen, was hinreichend war, um einem erträglich starken Winde zu widerstehen. Wenn also die Gewichte gleich waren, so waren auch die Stricke gleich stark angezogen.

Die Anordnung der Schirme bei einem Versuche ist aus Fig. 7 ersichtlich. Die Leitungsdrähte für den galvanischen Strom werden wie gewöhnlich der Telegraphendraht an Pfosten befestigt. *abc* ist ein ununterbrochenes Drahtstück; allein zwischen *e* und *h*, zwischen *i* und *l*, zwischen *m* und *p* etc. befinden sich Unterbrechungen, so dass der galvanische Strom durch die Schirme gehen muss. Der Weg des galvanischen Stromes ist also $+ a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t$. Die Enden *a* und *t* sind mit dem Instrumente und der Batterie verbunden. Wird das Geschoss durch die Schirme gefeuert, so zerreisst es bei seinem Durchgange einen oder mehrere Stricke an jedem Schirme, so dass entsprechend dem Momente, in welchem die Kugel durch jeden Schirm hindurchgeht, hier eine Unterbrechung des galvanischen Stromes und eine gleichzeitige Aufzeichnung auf dem Papier statthat.

Wenn der Cylinder voll von Spiralen ist, was nach fünf oder sechs Schüssen statthat, so wird er auf das in Fig. 8 dargestellte Instrument gebracht, wo *a* eine in 300 gleiche Theile getheilte Trommel ist, bei welcher mittelst des Verniers noch 3000tel genommen werden können. Ein kleines Tförmiges Stück, das bei *b* eine scharfe Kante hat, bewegt sich einer messingenen Schiene *L* entlang, die so adjustirt

ist, dass sie parallel zur Axe des Cylinders steht. Die Marke *b* wird nun mittelst einer (in der Figur nicht sichtbaren) Tangentenschraube an jede Aufzeichnung auf dem Papier hingeführt und dann der Vernier abgelesen.

Im Folgenden gibt Herr Bashforth die Details von Versuchsreihen, welche er mit seinem Instrumente angestellt hat; wir müssen in dieser Hinsicht unsere Leser auf das Original verweisen.

---

# Ueber eine neue Methode die Längen der Lichtwellen zu messen.

Von

J. Stefan.

(Sitzungsberichte der kaiserlichen Academie der Wissenschaften in Wien. Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe. Bd. LIII. 1866. p. 521.)

Hat man eine Quarzsäule mit parallel zur optischen Axe angeschliffenen Flächen und lässt polarisirtes Licht auf dieselbe fallen, so theilt sich im Allgemeinen jeder in den Quarz eintretende Strahl in zwei senkrecht gegen einander polarisirte, nämlich in den ordentlichen und den ausserordentlichen. Sind alle auffallenden Strahlen unter einander parallel, auch die Fläche, durch welche die Strahlen in den Quarz eintreten, parallel zu jener, durch welche sie austreten, so sind auch die ausfahrenden ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen unter einander parallel. Diese beiden Arten von Strahlen pflanzen sich im Quarz mit ungleichen Geschwindigkeiten fort, treten also mit einem Gangunterschiede aus dem Quarz aus. Werden sie durch einen Analyseur auf eine gemeinschaftliche Polarisationsebene gebracht, so können sie interferirend sich verstärken oder schwächen, je nach der Grösse des Gangunterschiedes. Beträgt dieser eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen, so können sie sich auch ganz auslöschen, wenn ihnen gleiche Intensität innewohnt. Um letzteres zu erreichen, wird man die Hauptebene des Polariseurs unter 45° gegen die Axe des Quarzes neigen und dasselbe auch mit der Hauptebene des Analyseurs thun.

Ist die Quarzsäule oder Quarzplatte sehr dünn, so erweist sich bei Anwendung von weissem Licht die stattgefundene Interferenz durch die Färbung des aus dem Analyseur kommenden Lichtes. Hat aber die Quarzsäule eine beträchtliche Dicke, so ist das aus dem Analyseur kommende Licht farblos. Die stattgefundene Interferenz kann aber nachgewiesen werden durch prismatische Zerlegung dieses Lichtes.

Es erscheinen dann im Spectrum an allen jenen Stellen, deren zugehörige Farben durch Interferenz ausgelöscht wurden, dunkle Streifen.

Um die Anzahl dieser Streifen in ihrer Abhängigkeit von der Dicke der Quarzsäule zu bestimmen, betrachten wir zuerst den Fall, dass die Strahlen senkrecht auf die Quarzfläche fallen, also die ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen in derselben unveränderten Richtung durch die Quarzsäule hindurch gehen. Ist $D$ die Dicke der Quarzsäule und sind $\mu_0$ und $\mu_e$ die Brechungsquotienten für den ordentlichen und ausserordentlichen Antheil eines Strahles, so haben diese Antheile nach ihrem Austritte aus dem Quarz den Gangunterschied

$$D(\mu_e - \mu_0).$$

An jenen Stellen im Spectrum, für welche dieser Ausdruck gleich wird einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen, entstehen dunkle Streifen. Die Bedingung für die Entstehung eines solchen an einer bestimmten Stelle des Spectrums ist daher die, dass der Ausdruck

$$\frac{2D(\mu_e - \mu_0)}{\lambda}$$

für diese Stelle eine ungerade Zahl werde. $\lambda$ bedeutet die dieser Stelle entsprechende Wellenlänge.

Da die Differenz $\mu_e - \mu_0$ vom rothen gegen das violette Ende hin wächst, $\lambda$ hingegen abnimmt, so entsprechen den vom rothen gegen das violette Ende hin auf einander folgenden Streifen immer grössere ungerade Zahlen, in der Gleichung

$$\frac{2D(\mu_e - \mu_0)}{\lambda} = 2n + 1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

nimmt $n$ von Streifen zu Streifen um eine Einheit zu.

Bedeuten $\mu'_0$, $\mu'_e$, $\lambda'$ für eine zweite Stelle des Spectrums, was dieselben Buchstaben ohne Strich für die erste, und hat man für diese zweite Stelle

$$\frac{2D(\mu'_e - \mu'_0)}{\lambda'} = 2(n + x) + 1$$

so ist offenbar $x$ die Anzahl der dunklen Streifen von der ersten Stelle bis zur zweiten. Man hat also

$$x = \frac{D(\mu'_e - \mu'_0)}{\lambda'} - \frac{D(\mu_e - \mu_0)}{\lambda} \quad \ldots\ldots \quad (b)$$

Aus dieser Gleichung ist zugleich ersichtlich, dass man z. B. $\lambda'$ bestimmen könne, sobald man $D$, $x$, $\lambda$ und die Brechungsquotienten kennt. Nimmt man die Wellenlänge der Fraunhofer'schen Doppel-

linie $D$ als bekannt an, so kann man durch Abzählen der zwischen dieser und den übrigen Linien liegenden Interferenzstreifen die Wellenlängen aller übrigen finden, von welchen man die Brechungsquotienten kennt.

Die Gleichung ($a$) zeigt aber, dass die Wellenlänge $\lambda$ für eine Linie unmittelbar bestimmt werden kann, ohne dass dazu die Kenntniss der Wellenlänge einer anderen Linie erforderlich wird, sobald die Zahl $n$ gegeben ist. Diese kann aber auf folgende Weise ermittelt werden.

Man denke sich die Dicke der Quarzsäule ein wenig verringert. Soll dann die Gleichung ($a$) noch für dasselbe $n$ befriedigt werden, so muss der Quotient

$$\frac{\mu_e - \mu_0}{\lambda}$$

grösser genommen werden. Es wird also bei Verringerung der Dicke der Quarzplatte jede Interferenzlinie von ihrer ursprünglichen Stelle im Spectrum etwas weiter gegen das violette Ende rücken. Ist die Dicke nunmehr $D'$, so dass

$$\frac{2D'(\mu_e - \mu_0)}{\lambda} = 2n - 1$$

wird, so wird die ursprünglich mit einem dunklen Streifen versehene Stelle wieder mit einem solchen bedeckt sein. Hat man daher diese Stelle von Anfang an fixirt dadurch, dass man sie das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohrs schneiden lässt, so wird man bei continuirlicher Verminderung der Dicke der Quarzsäule ein Wandern der Interferenzlinien vom rothen gegen das violette Ende wahrnehmen. So oft eine solche Linie das Fadenkreuz passirt, ist der Quotient

$$\frac{2D(\mu_e - \mu_0)}{\lambda}$$

um zwei Einheiten kleiner geworden. Passirten bei der Abnahme der Dicke von $D$ zu $D'$ $y$ Linien das Fadenkreuz, so hat man für $y$ die Gleichung

$$\frac{2D'(\mu_e - \mu_0)}{\lambda} = 2(n - y) + 1$$

und ausser dieser und der Gleichung ($a$) folgt nunmehr

$$\lambda = \frac{(D - D')(\mu_e - \mu_0)}{y} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c)$$

Wird die Dicke der Quarzplatte successive bis zu $D'$ vergrössert, statt verkleinert, so wandern die Interferenzlinien in umgekehrter

Richtung. Die daraus sich ergebende Gleichung für $\lambda$ ist dieselbe, wie die vorhergehende, nur dass man $D'-D$ statt $D-D'$ einzusetzen hat.

Die in Rede stehenden Interferenzstreifen sind schon von Fizeau und Foucault beobachtet worden. Auch haben diese beiden Physiker das Mittel, die Quarzdicke mittelst zweier Keile zu variiren, schon angegeben. Den grossen Werth dieses Interferenzversuches für die Bestimmung von Wellenlängen berühren sie nicht, sie heben im Gegentheile hervor, dass derselbe besonders dazu geeignet wäre, den Unterschied zwischen dem Brechungsquotienten des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles sehr genau zu liefern. Die genaue Bestimmung dieser Differenz gelingt aber eben so gut auf directem Wege. Auch hat sie die Bedeutung, welche ihr Fizeau und Foucault gaben, nicht. Der Unterschied dieser beiden Brechungsquotienten steht mit dem Unterschiede der Geschwindigkeiten, mit welchen sich die beiden circular polarisirten Strahlen in der Richtung der Axe des Quarzes fortpflanzen, in gar keiner durch die Theorie begründeten Verbindung. Eine genaue Bestimmung dieses Unterschiedes kann zunächst nur von Bedeutung sein für den hier in Rede stehenden Zweck, für die Bestimmung von Wellenlängen.

Es entsteht aber nun die Frage, mit welcher Genauigkeit die Wellenlängen nach dieser Methode ermittelt werden können. Darauf gibt die Gleichung für $\lambda$ Antwort. Bezeichnet man die Fehler, welche an den beobachteten Grössen $D-D'$, $\mu_e-\mu_0$, $y$ haften, durch die Differentiale dieser Grössen, ebenso die durch diese Fehler entstehende Aenderung von $\lambda$ durch $d\lambda$, so ist

$$\frac{d\lambda}{\lambda}=\frac{d(D-D')}{D-D'}+\frac{d(\mu_e-\mu_0)}{\mu_e-\mu_0}-\frac{dy}{y}.$$

Nehmen wir beispielsweise den Fall, es handle sich um die Wellenlänge der Linie $D$, für welche Fraunhofer $\lambda=0{,}0005888^{\text{mm}}$ gefunden. Ist $D-D'=20^{\text{mm}}$, so wird $y$ etwa $=300$ sein. Ferner ist nach Rudberg $\mu_e-\mu_0=0{,}00910$. Aus diesen Daten ergibt sich, dass für

$$d(D-D')=0{,}005^{\text{mm}}$$
$$d(\mu_e-\mu_0)=0{,}000002$$
$$dy=0{,}1$$

die daraus sich ergebenden Antheile des Fehlers $d\lambda$ werden

1, 1, 2 Einheiten

in der siebenten Decimalstelle, oder in der vierten der vier Ziffern 5888.

Dass die Beobachtung der einzelnen Elemente mit der geforderten Genauigkeit gemacht werden kann, ist kein Zweifel. Namentlich was die Bestimmung von $D-D'$ und $y$ betrifft, lässt sich durch wiederholte Versuche noch eine grössere Genauigkeit erzielen. Was endlich die Differenz $\mu_e - \mu_0$ anbelangt, so hätte es allerdings grosse Schwierigkeiten, wenn jeder der beiden Brechungsquotienten so genau bestimmt werden sollte. Viel leichter ist es jedoch, wenn es sich nur um die Differenz der beiden handelt, da ja diese mit einem und demselben Prisma aus zwei sehr nahe liegenden Spectren zu bestimmen sind, also die Fehler, die aus der Unrichtigkeit des Prismenwinkels und anderen Ursachen kommen, in fast ganz gleicher Weise tragen.

Da ich über einen solchen Keilapparat nicht verfüge, so konnte ich Messungen von Wellenlängen nach dieser Methode nicht vornehmen. Wohl aber habe ich solche nach einer anderen, freilich weniger Genauigkeit zulassenden, ausgeführt. Diese soll nun im Folgenden erklärt werden.

Soll das beschriebene Interferenzphänomen zur absoluten Bestimmung von Wellenlängen verwendbar sein, so handelt es sich darum, den Gangunterschied zwischen dem ordentlichen und ausserordentlichen Strahle successive zu vergrössern oder zu verkleinern. Dies kann aber ganz einfach mit einer Quarzsäule allein auch bewirkt werden. Dadurch, dass man die Strahlen immer schiefer und schiefer auf die Quarzsäule auffallen lässt und umgekehrt, also dadurch, dass man diese Quarzsäule aus ihrer gegen die Strahlen senkrechten Stellung allmälig herausdreht und allmälig in dieselbe wieder zurückdreht.

Fällt ein Strahl unter dem Winkel $i$ auf eine planparallele Platte von der Dicke $D$ auf, so hat er nach seinem Austritte aus der Platte gegen einen zur selben Planwelle gehörigen aber durch die Luft gegangenen Strahl den Gangunterschied

$$D(\sqrt{\mu^2 - \sin^2 i} - \cos i)$$

wenn $\mu$ der Brechungsquotient der Platte ist.

Die aus der Quarzsäule kommenden ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen haben daher einen Gangunterschied $\triangle$, der durch die Gleichung

$$\triangle = D\sqrt{\mu_e^2 - \sin^2 i} - D\sqrt{\mu_0^2 - \sin^2 i}$$

bestimmt ist. An jeder Stelle des Spectrums, für welche $\triangle$ eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, befindet sich ein dunkler

Streifen. Nimmt der Winkel $i$ ein wenig zu, so wird $\triangle$ grösser, also ein ungerades Vielfache der Hälfte einer grösseren Wellenlänge. Es rückt daher bei Vergrösserung des Winkels $i$ jede Interferenzlinie vom violetten gegen das rothe Ende, umgekehrt bei Verkleinerung des Winkels $i$ vom rothen gegen das violette Ende des Spectrums. Jede Interferenzlinie erreicht im Spectrum das Maximum der Deviation, sobald $i = 0$ ist, und kann dieser Umstand auch zur Einstellung der Quarzsäule benützt werden.

Geht man vom Winkel $i$ zum kleineren $i'$ über, so verwandelt sich der Gangunterschied $\triangle$ in $\triangle'$, so dass

$$\triangle' = D\sqrt{\mu_e^2 - \sin^2 i'} - D\sqrt{\mu_0^2 - \sin^2 i'}$$

ist. Gehen nun während dieses Ueberganges $y$ Interferenzlinien durch eine fixirte Stelle des Spectrums, so ist

$$\triangle - \triangle' = y\lambda,$$

somit hat man zur Bestimmung von $\lambda$ die Gleichung

$$\lambda = \frac{D}{y}.$$

$$[(\sqrt{\mu_e^2 - \sin^2 i} - \sqrt{\mu_0^2 - \sin^2 i}) - (\sqrt{\mu_e^2 - \sin^2 i'} - \sqrt{\mu_0^2 - \sin^2 i'})]$$

Der Einfachheit wegen wird man beim Versuche $i' = 0$ nehmen und am besten folgendermassen verfahren. Man stelle zuerst mittelst des oben angegebenen Kennzeichens die Quarzflächen senkrecht gegen die einfallenden Strahlen, drehe nun die Quarzsäule, bis $y$ Interferenzlinien das Fadenkreuz passiren und lese den Stand des Index auf dem zur Messung des Drehungswinkels bestimmten Kreise ab. Nun drehe man wieder zurück in die ursprüngliche Lage und über diese hinaus nach der entgegengesetzten Seite so weit, bis wieder $y$ Linien das Fadenkreuz passirt haben. Liest man wieder den Stand des Index am Kreise ab, so gibt diese Ablesung mit der früheren den doppelten Einfallswinkel $i$. Man hat dadurch zugleich den Fehler, der bei der senkrechten Einstellung der Säule gemacht wurde, eliminirt. Zur Berechnung von $\lambda$ dient nun die Formel

$$\lambda = \frac{D}{y}[(\sqrt{\mu_e^2 - \sin^2 i} - \sqrt{\mu_0^2 - \sin^2 i}) - (\mu_e - \mu_0)] \quad . \; . \; . \; (d)$$

Es sollen nun die Versuche folgen, welche ich zur vorläufigen Prüfung dieser Methode gemacht habe. Sie beziehen sich zunächst auf die Bestimmung der Wellenlänge der Linie $D$. Ich erhielt

für $y = 10\frac{1}{3}$, $i = 19^0 46'$
$16\frac{1}{3}$ $24^0 51'$
$20\frac{1}{3}$ $27^0 50'$
$30\frac{1}{3}$ $34^0 2'$.

Aus diesen Zahlen und den von Rudberg bestimmten Brechungsquotienten erhält man nach der Formel (*d*) folgende Werthe von $\lambda$:

$$\lambda = 0{,}0005893^{mm}$$
$$5882$$
$$5909$$
$$5887$$

aus denen das arithmetische Mittel

$$\lambda = 0{,}0005893^{mm}$$

folgt, das mit den besten bisherigen Bestimmungen von Fraunhofer, Ångström und Ditscheiner in ausserordentlicher Uebereinstimmung steht.

Mit Hilfe dieses Werthes von $\lambda$ habe ich nun nach der Formel (*b*) auch die Wellenlängen der übrigen Fraunhofer'schen Hauptlinien gerechnet, da ich die Anzahl der Interferenzlinien zwischen jeder dieser Linien und der Linie $D$ bestimmt habe. Es liegen nämlich

| | | |
|---|---|---|
| zwischen $B$ und $C$ | . . . . . $17\frac{1}{2}$ | Interferenzlinien |
| „ $C$ „ $D$ | . . . . . 46 | „ |
| „ $D$ „ $E$ | . . . . . $54\frac{1}{2}$ | „ |
| „ $E$ „ $F$ | . . . . . 44 | „ |
| „ $F$ „ $G$ | . . . . . $76\frac{1}{2}$ | „ |
| „ $G$ „ $H$ | . . . . . 60 | „ |

Man erhält für die Wellenlängen der Linien $B$, $C$, $E$, $F$, $G$, $H$ folgende Werthe

0,0006873, 6578, 5271, 4869, 4291, 3959.

Die grosse Uebereinstimmung zwischen diesen Zahlen und jenen, welche aus den Beugungserscheinungen feiner Gitter abgeleitet wurden, ist ein Beweis für die Brauchbarkeit der neuen Methode einerseits und andererseits zugleich ein Beweis für die Richtigkeit der Theorie der Beugung in so weit, als sich auf dieselbe die Bestimmung der Wellenlängen gründet.

---

# Kleinere Mittheilungen.

## Neuer Regulator für electrisches Licht.

Von **Serrin.**

(Hiezu Taf. V, Fig. 4.)

(Les Mondes 16. Août 1866.)

Dieser neue Regulator nähert, wie die vor ihm construirten, die Kohlen in dem Maasse, als sie verbraucht werden; allein er entfernt sie auch wieder von einander, sobald sie in Berührung gekommen sind. Das Gewicht eines seiner Theile selbst ist es, welches den Apparat mittelst eines Systemes verzahnter Räder in Gang setzt.

Zu diesem Behufe gleitet die Stange *B*, welche die positive Kohle *c* trägt und von ihrem unteren Theile in eine gezahnte Stange *C* endigt, mit sanfter Reibung in einer Büchse *H*.

Senkt sich die Stange durch ihr eigenes Gewicht und damit zugleich die positive Kohle, so überträgt die Zahnstange *C* die Bewegung auf ein Rad *G*, an dessen Axe eine Rolle *D* befestigt ist. Wenn sich diese Rolle von rechts nach links dreht, rollt sich auf ihr eine Kette *z* auf, welche über eine zweite Rolle *y* geht und bei *i* zu dem unteren Ende einer rechtwinklig gebogenen Stange herabgeht; wird diese gehoben, so steigt mit ihr das Stück *K*, welches die negative Kohle *c* trägt; steigt diese, so geht in gleichem Maasse die positive Kohle herab. In unserer Zeichnung beträgt der Durchmesser der Rolle *D* nur die Hälfte von dem des Rades *G*, woraus folgt, dass die positive Kohle doppelt so rasch sich bewegt als die negative Kohle.

Es ist dies der gewöhnliche Fall, wenn der Strom durch eine Voltaische Säule erzeugt wird, weil dann die positive Kohle doppelt so rasch sich verbraucht als die negative Kohle; wird aber eine magnet-electrische Maschine angewendet, so werden beide Kohlen gleich stark verbraucht und die Rolle und das Rad müssen dann gleiche Durchmesser besitzen.

Der Regulator functionirt nun in folgender Weise: Sobald die beiden Kohlen sich berühren, geht der Strom durch den Draht *P*, steigt an *HB* empor bis zur positiven Kohle; von da geht er durch die negative Kohle an dem Stabe *K* herab und so weiter in der Richtung der Pfeile bis zur Klemme *d* an der rechten Seite des unteren Rahmens, ohne jedoch in die übrigen Theile des Apparates einzutreten, da alle Theile, durch welche der Strom geht, mittelst der Elfenbeinstücke *i i i i* isolirt sind. Von der Klemme *d* wird der Strom durch einen mit Kautschuk überzogenen Kupferdraht zu einem Electromagnet *E* geführt, von wo er zu einer Klemme *x* und von hier durch den Draht *N* zur Säule zurückgeht.

Sobald der Strom durch den Electromagnet geht, wird ein Anker *A* von weichem Eisen gehoben und dadurch die Entfernung der beiden Kohlenspitzen hervorgebracht.

An diesem Anker ist ein kupferner Rahmen *VS* befestigt, der sich um eine horizontale Axe *V* bewegt und an einem Ende mit einem Stabe *q* verbunden ist, der wieder durch ein Gelenk mit einem zweiten Rahmen *mnp*, welcher selbst um eine Axe *m* beweglich ist, in Verbindung steht. Wird nun der Anker *A* gehoben, so erzeugt er eine Bewegung des Hebels *VS* und, indem sich so die Stange *q* senkt, werden die beiden Kohlen von einander entfernt. Allein gleichzeitig mit der Stange *q* senkt sich ein Stück *g*, welches in eine horizontale Lamelle *t* ausläuft. Da sich diese aber dann in die Zähne eines Sperrrades *r* einlegt, so wird dieses Rad arretirt und damit alle gezahnten Räder und die Zahnstange *C*. Die Kohlen sind also dann fixirt, was so lange andauert als die Intensität des Stromes hinreichend stark ist, um den Anker *A* in die Höhe zu halten. Werden die Kohlen dann verbraucht, so vergrössert sich ihr Zwischenraum, die Stromintensität nimmt ab, der Anker sinkt und das Rad *r* wird frei. Sogleich nähern sich die Kohlen einander, ohne jedoch zur Berührung zu kommen, weil der Strom zuvor eine hinreichende Intensität erlangt, um den Anker zu heben und die Kohlen zu arretiren.

Das Annähern und Entfernen der Kohlen werden also durch den Apparat selbst regulirt.

---

## Das Holosterische Barometer von Naudet, Hulot und Comp.

(Hiezu Taf IV, Fig. 1 u. 2.)

Le Roux spricht sich im Bulletin de la Société d'Encouragement vom September 1866 unter Anderem über dieses Instrument folgendermassen aus:

Das neue Barometer von Naudet, Hulot & Comp. ist, was das Princip und die wesentlichen Theile desselben betrifft, nichts anderes als das bekannte Barometer Vidi; allein es ist gegen dieses wesentlich verbessert und mit einer Genauigkeit construirt, welche nur wenig zu wünschen übrig lässt.

Bekanntlich besteht das Princip des Barometers Vidi in Folgendem: Der leere Raum wird in einem ganz kurzen Cylinder hergestellt, dessen Bodenflächen sehr flexibel sind; eine dem Luftdrucke entgegenwirkende Feder hält diese Bodenflächen in derselben Entfernung, wie wenn im Inneren desselben kein leerer Raum vorhanden wäre. Jedem Werthe des Barometerdruckes entspricht bei dieser Feder eine andere Gleichgewichtslage, welche auf die Bewegung eines mit der einen Bodenfläche des Cylinders verbundenen Zeigers durch einen Mechanismus übertragen wird, das die Bewegungen dieser Bodenplatte vergrössert.

Die gegenwirkende Feder ist bei dem Barometer Vidi eine Drahtfeder, bei dem neuen Instrumente ist sie eine breite Stahllammelle, die nach Art eines Schwanenhalses gewölbt ist und ausserdem dass sie ganz die Regelmässigkeit in den Biegungen beibehält, das äussere Aussehen des Mechanismus verschönert. Die Bewegungen werden durch mit Gelenken versehene Stäbe übertragen, welche die Regulirung eines jeden Theiles am Instrumente zulassen; alle Rotationen finden um Zapfen in unveränderlichen Lagern statt. Jedes Stück ist derart äquilibrirt, dass die unveränderte Lage des Instruments ebenso wenig als die Erschütterungen, welche es beim Transporte erfährt, irgend einen nachtheiligen Einfluss haben.

Figg. 1 und 2 auf Tafel IV zeigen das Instrument von oben gesehen (wobei der Deckel der Büchse weggenommen ist), und im Profile in wirklicher Grösse.

*A* ist die Grundplatte, welche an den Boden der Büchse des Instrumentes angeschraubt ist.

*B* ist der Cylinder oder die Barometerröhre mit wellenförmigen,

flexiblen Bodenflächen; sie ist im Innern luftleer und es wirkt auf sie der atmosphärische Druck.

*C* ist die dem Luftdrucke entgegenwirkende Feder; sie besteht aus Stahl und hat im Durchschnitte die Form eines Schwanenhalses.

*D* ist ein gegossenes Querstück, welches zwischen Backen den hinteren Theil der Feder *C* festhält und das in cylindrischen Zapfen endigt.

*E,E* sind kupferne Träger, die an die Grundplatte *A* angeschraubt sind und die Zapfen des Querstückes *D* in Lagern tragen.

*F* ist eine kleine kupferne Säule, die im Centrum des Cylinders *B* befestigt ist und nach dem oberen Theile hin dünner wird, um durch die gegenwirkende Feder hindurchzugehen, deren Spannung mittelst eines starken Stiftes, welcher durch die Säule von vorn hindurchgeht, erhalten wird.

Aus der ganzen Anordnung ist ersichtlich, dass es die Träger *E* sind, welche die Barometerröhre, die kleine Säule *F* und die gegenwirkende Feder zu tragen haben.

*G* ist ein Verlängerungsstück, das am einen Ende des Querstückes *D* umgebogen ist und auf der Zugschraube aufliegt, die von unten durch die Grundplatte *A* hindurchgeht und ein mehr oder weniger starkes Festklemmen des Querstückes *D* gegen seine Zapfen gestattet.

*HH'* ist eine lange an der gegenwirkenden Feder befestigte Stange, welche dazu dient, die Aenderungen in der Spannung dieser Feder, welche den Variationen des Luftdruckes entsprechen, fortzuführen; sie besteht aus zwei Theilen, wovon der kürzere *H'* aus Kupfer besteht und die längere stählerne in einer Büchse trägt, in welcher sie festgehalten und mittelst einer Schraube regulirt wird.

*J* ist eine stählerne Triebstange, welche an der einen Seite am Ende der Stange *HH'*, an der anderen Seite an einer kleinen Kappe befestigt ist, welche mit der Platte *J* ein Stück bildet.

*J* ist eine kleine Platte, die mit einer krummen Feder versehen ist, welche der Bewegung der Stange *J* entgegenwirkt.

*L* ist eine Transmissionsaxe für die Bewegung der Stange *HH'*; sie dreht sich in Lagern, welche an der Grundplatte *A* befestigt sind.

*M* ist eine sphärische Kappe mit Gegengewicht, welche an der Axe *L* angebracht ist und das andere Ende der Feder *K* trägt.

*N* ist eine kleine Stange vor der Platte *J*, welche mit einem an der Axe *L* befestigten Bügel versehen ist; sie oscillirt unter dem Einflusse der Feder *K*, welche eine Drehung der Axe *L* verursacht.

*O* ist ein Zeiger, welcher die Veränderungen des Luftdruckes angibt; er ist am vorderen Ende einer horizontalen Axe *P* angebracht, die sich unterhalb der Säule *F* befindet.

*Q* ist eine an der Stange *N* befestigte Kette, welche sich um den bauchigen Theil der Axe *P* aufrollt, auf die sie die Oscillationsbewegungen der Stange *N* und folglich auch der grossen Stange *HH,* überträgt.

*RR* sind durch zwei Querstücke, zwischen denen sich die Axe *P* befindet, verbundene Säulchen.

*S* ist ein die Säulchen *R* und ihre Querstücke tragender Bügel.

*T* eine an der Grundplatte *A* befestigte Säule, mit welcher der Bügel *S* verbunden ist.

*U* ist eine einerseits an der Axe der Säulchen *R*, andrerseits an der Axe *P* befestigte Spiralfeder, welche sich um letztere aufrollt und so den Zeiger *O* in seine frühere Lage zurückführt, wenn derselbe nicht durch die Kette *Q* angezogen wird.

*V, V* sind Schrauben, welche in zwei zu einander senkrechten Ebenen an der Platte *J* sich befinden und an dem Bügel der Stange *N* anliegen; sie dienen dazu, die Ausweichung der Feder *K* zu reguliren.

Das Instrument functionirt nun in folgender Weise:

Da der barometrische Cylinder *B* vollständig luftleer ist, so zieht er sich zusammen oder dehnt sich aus je nach den Variationen des Luftdruckes. Die gegenwirkende Feder *C*, welche den Bewegungen des barometrischen Cylinders folgt, wirkt auf die Stange *HH'*, die mittelst der Stange *J*, der Platte *Z* und der Feder *K* die Drehung von *L* bewirkt. Die Axe *L* bewirkt mit Hilfe der Stange *N* und der Kette *Q*, dass sich der Zeiger *O* um einen Winkel dreht, welcher so auf einem getheilten Limbus die Barometerveränderungen darstellt.

*W* ist die Büchse, in der sich das Instrument befindet; sie ist mit einem Ringe zum Aufhängen versehen.

*X* ist der vom Zeiger *O* durchlaufene getheilte Limbus, welcher noch die Anzeigen des Witterungswechsels enthält. Die innere Peripherie dieses Limbus ist auf Fig. 1 durch den kleineren der beiden punctirten Kreise dargestellt.

*Y* ist die Glasplatte, welche den Deckel des Instrumentes bildet. (Fig. 2.)

*Z* ist ein Stellzeiger, welcher sich unter der Glasplatte befindet und von aussen mittelst eines Knopfes bewegt wird.

Das Instrument ist häufig mit einem Thermometer mit gebogenem Rohre versehen, das am Limbus befestigt ist. Dieses Thermometer, das auf Fig. 1 durch punctirte Linien angezeigt ist, ist in der Fig. 2 mit dem Buchstaben *a* bezeichnet.

---

## Der neue Cometensucher der Sternwarte zu Marseille.

(Hiezu Taf. V, Fig. 6.)

Die Sternwarte zu Marseille hat im vergangenen Sommer einen neuen Cometensucher erhalten, welcher nach den Angaben von Le Verrier in den Sécretan'schen Ateliers zu Paris ausgeführt wurde und auf Tafel V Fig. 7 abgebildet ist.

Das Fernrohr dieses Instrumentes hat $0^m,19$ Oeffnung und 2 Meter Brennweite. Das conische Rohr ist aus Holz verfertigt, das gegen die Fasern geschnitten ist, und besitzt so trotz seines geringen Gewichtes eine ungemein grosse Festigkeit. An dem einen Ende desselben befindet sich die Fassung des Objectives, das andere Ende trägt ein starkes Messingstück, das den mittleren Theil der Declinationsaxe bildet. Das Micrometer mit beweglichem Faden und einer gezahnten Positionsplatte ist mit drei schwachen Ocularen mit grossem Gesichtsfelde und achromatischen Linsen versehen.

Das Ensemble der den Fuss bildenden Stücke ist so berechnet, dass die Höhe des Augenortes $1^m,75$ über dem Boden beträgt; da nun das Fernrohr alle möglichen Lagen im Raume einnehmen kann und um den Mittelpunct der Focalebene des Objectives, der als Bewegungsmittelpunct genommen ist, sich dreht, so folgt, dass ein Beobachter, während er das Auge am Oculare hat, den ganzen Himmel durch eine einfache Rotationsbewegung um sich selbst durchlaufen kann, wenn er nur den Kopf, je nachdem er im Zenith oder im Horizonte beobachtet, hebt oder senkt.

Ein grosses gusseisernes Dreieck mit drei starken Fussschrauben bildet die Basis des Instrumentes. An der einen Seite dieses Dreieckes ist die Pfanne befestigt, welche das untere Ende der Stundenaxe aufnimmt; an der Spitze des dieser Seite gegenüberliegenden Winkels befindet sich eine gusseiserne Säule, welche das Lager für den anderen Angriffspunct der Axe trägt.

Der Stundenkreis ist in Stunden und Minuten getheilt und gibt mittelst der zugehörigen Verniers noch Zeitsecunden. Ein Mechanismus mit Rädern, der mittelst starker unter der Hand des Beobachters befindlicher Handgriffe bewegt wird, gestattet die Einstellungen nach gerader Aufsteigung. Ein ähnlicher Mechanismus gestattet die Bewegung des Instrumentes völlig aufzuheben.

Die Declinationsaxe besteht aus Messing und hat stählerne Zapfen, die in Lagern liegen, welche an zwei gegossenen und mit dem Stundenkreise fest verbundenen krummen Trägern angebracht sind. Diese Axe ist mit zwei Kreisen versehen, wovon der eine gezahnt, der andere so getheilt ist, dass er mittelst der zugehörigen Verniers noch einzelne Minuten abzulesen gestattet. Ein ähnlicher Mechanismus, wie der am Stundenkreise für die Bewegungen in gerader Aufsteigung angebrachte, ist auch hier an dem gezahnten Kreise für die Handhabung der Declinationsaxe angebracht. Mittelst einer sehr starken Klemme kann das Instrument in einer bestimmten Lage arretirt werden. Der Beleuchtungsapparat besteht aus einer Hängelampe mit Prismen und einer zur Regulirung der Lichtintensität dienenden Vorrichtung. Ein System von Gegengewichten und Hebeln, die einerseits am Fernrohre, andrerseits an der Stundenaxe befestigt sind, halten das Fernrohr in allen Lagen, welche es im Raume einnehmen kann, im Gleichgewichte.

---

## Ueber einen Apparat, der dazu dient, die Bewegungen des Pendels experimentell zu studiren.

Von **Simon**.

(Hiezu Tafel V, Fig. 5 u. 6.)

Wenn ein Punct eine Kreisperipherie gleichförmig durchläuft, so bewegt sich die Projection dieses Punctes auf irgend einem Durchmesser von der einen Seite vom Mittelpuncte auf die andere Seite nach leicht zu bestimmenden Gesetzen. Es handelt sich nun darum, auf experimentalem Wege zu zeigen, dass diese Oscillationsbewegung mit derjenigen identisch ist, welche irgend ein Punct eines Pendels zeigt, wenn der von diesem Puncte beschriebene Bogen klein genug ist, dass er mit der zugehörigen Sehne zusammenfallend genommen werden

kann. In folgender Weise lässt sich dies, wie uns scheint, am zweckmässigsten bewerkstelligen.

Es sei $H$ (Fig. 5 Taf. V) ein um seine Axe drehbarer horizontaler Cylinder, der durch ein Gewicht $P$ in Bewegung gesetzt wird. Die Rotationsaxe trage an der einen Seite eine mit Papier überzogene Scheibe $EF$ und am anderen Ende Flügel $LL'$, die dazu dienen, dass die Bewegung eine ganz kurze Zeit lang gleichförmig sei. Es sei $BC$ ein um den Punct $B$ in einer zur Scheibe parallelen Ebene bewegliches Pendel, das an seinem Ende $C$ einen Stift trägt, dessen Spitze in der Gleichgewichtslage des Pendels mit dem Mittelpuncte $C$ der Scheibe coincidirt.

Es sei ferner $Q$ eine Masse, welche man mit starker Reibung die Stange $BC$ entlang gleiten lassen und mittelst einer Klemmschraube feststellen kann. Senkt oder hebt man die Masse $Q$, so wird die Dauer einer kleinen Schwingung des Pendels zu- oder abnehmen. Es ist ersichtlich, dass man es so durch einen vorläufigen Versuch wird dahin bringen können, dass das Pendel während der Zeit, in welcher die Scheibe eine Umdrehung mit gleichförmiger Geschwindigkeit zurücklegt, genau eine doppelte Oscillation macht. Nehmen wir nun an, es sei diese Bedingung erfüllt.

Denken wir uns nun, das Pendel entferne sich aus seiner Gleichgewichtslage um eine Grösse, die so klein sei, dass der vom Puncte $C$ beschriebene Bogen als mit der zugehörigen Sehne zusammenfallend gedacht werden kann. Es sei nun $AA'$ (Fig. 6 Taf. V) die gerade Linie, welche der Stift auf der Scheibe beschreiben würde, wenn dieselbe unbeweglich wäre; und es sei $AEA'F$ der Kreis, welchen derselbe Stift beschreiben würde, wenn man das Pendel in der Lage seiner grössten Ausweichung während einer Umdrehung der Scheibe im Sinne des Pfeiles $f$ festhalten würde. Da aber die Scheibe und das Pendel sich gleichzeitig bewegen, so beschreibt der Stift in Wirklichkeit weder die Gerade $AA'$ noch den Kreis $AEA'F$. Da die Bewegung der Scheibe gleichförmig ist und das Pendel bei $A$ ohne Anfangsgeschwindigkeit sich selbst überlassen würde, so wollen wir der Einfachheit halber annehmen, dass man den Versuch nach einer einfachen Schwingung des Pendels oder nach einer halben Umdrehung der Scheibe beendige; man wird dann finden, dass der Stift auf dem Papier eine gewisse krumme Linie $AMONA$ gezogen hat, und mit

Hilfe des Zirkels wird man sehen, dass diese Curve ein Kreis mit dem Durchmesser $OA$ ist.

Um dieses Resultat zu interpretiren, nehmen wir den Moment, wo der Stift irgend einen Punct $M$ dieses Kreises markirt hat und sehen zu, wie sich die Sache in diesem Moment verhält. Der Durchmesser $KK'$ fiel mit der Horizontalen $AA'$ zusammen und wenn man von $O$ als Mittelpunct den Kreisbogen $MM'$ beschreibt, so bestimmt der Punct $M_1$ die Lage des Stiftes. Nimmt man andrerseits den Bogen $AA_1$ gleich dem Bogen $KA$, so war der Punct $A$ der Scheibe nach $A_1$ gekommen. Allein die Gerade $AM$ ist senkrecht zu $KK'$, also ist die Gerade $A_1M_1$ senkrecht zu $AA'$. Der Stift hat also die Horizontale $AA'$ beschrieben, indem er dabei beständig mit der Projection eines Punctes $A_1$ zusammenfiel, welcher selbst gleichförmig den Halbkreis $AFB'$ durchlaufen hat, was zu beweisen war.

Man sieht so leicht, dass wenn man den Versuch mehrere Pendelschwingungen hindurch verlängern würde, der Stift stets denselben Kreis $AMONA$ und zwar in der durch den Pfeil $f'$ angezeigten Richtung, so lange nämlich die Oscillationsamplitude merklich constant bleibt.

(Les Mondes 25. Octobre 1866.)

---

## Mach. Ueber einen Apparat zur mechanisch-graphischen Darstellung der Schwingungscurven.

(Hiezu Tafel V, Fig. 8.)

Mach hat in Poggendorff's Annalen (1866 Nr. 11) den auf Tafel V Fig. 8 abgebildeten Apparat zur Darstellung der Schwingungscurven auf mechanisch-graphischem Wege beschrieben:

Eine Anzahl Räder, deren Axen mit $a$, $b$, $c$ bezeichnet sind, greifen ineinander. Ich erreiche dies am einfachsten, indem ich den Umfang mit Kautschuck überziehe und die Räder aneinander presse. Die Durchmesser der Räder $a$ und $b$ verhalten sich wie $1 : \frac{1}{2}$, bei $a$ und $c$ wie $1 : \frac{1}{3}$. Die drei Räder tragen drei Stifte $d$, $e$, $f$, welche in die horizontalen Schlitze an den vertical beweglichen Schiebern $g$, $h$, $i$ eingreifen. Die Schieber tragen Rollen $m$, $n$, $p$, über welche die bei $z$ befestigte und noch, wie aus der Zeichnung ersichtlich, über mehrere Rollen gezogene Schnur $z$, $m$, $n$, $p$, $s$, $r$ läuft, die bei $s$ einen Schreibestift und

bei $r$ ein Gewicht trägt. Der Stift $s$ schreibt auf der Platte $t$, welche mittelst der Schnur $kv$, die sich am Umfange des Rades $a$ aufwindet, fortgezogen wird. Die Entfernungen der Stifte $d$, $e$, $f$ beziehungsweise gegen die Axen $a$, $b$, $c$, sowie die Anfangslagen der Linien $ad$, $be$, $cf$ können durch Schrauben verändert werden. Wenn man nun das Rad $a$ durch eine Kurbel in Bewegung setzt, so beschreibt der Stift $s$ auf der Platte $t$ eine Curve. Nennen wir $x$ die Abscisse und $y$ die Ordinate derselben, so hat sie die Gleichung:

$$y = a \sin(x + \alpha) + b \sin(2x + \beta) + c \sin(3x + \gamma)$$

wobei die Constanten $a$, $b$, $c$ von den Entfernungen $ad$, $be$, $cf$ und die Constanten $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ von den Anfangslagen derselben Linie am Apparate abhängen. Dieser Apparat zeichnet also die Schwingungscurven verschiedener Klangfarben mit Rücksicht auf die drei ersten Partialtöne.

Man braucht sich natürlich nicht darauf zu beschränken. Es hängt nur von der Zahl der angewandten Räder ab, wie viele, und nur von ihren Durchmessern, welcherlei pendelartige Schwingungen man combiniren kann. Lässt man den Schreibestift nach einer Richtung und die Schreibeplatte nach irgend einer anderen hin- und herziehen, so erhält man Lissajous'sche Figuren.

---

## Neues Hilfsmittel, die Sonnengläser an Fernrohren zu ersetzen.

Herr Foucault hat bei seinen Arbeiten über versilberte Telescopspiegel die Wahrnehmung gemacht, dass die Metallschicht, deren Glanz so lebhaft ist, zugleich eine Durchsichtigkeit und eine Klarheit besitzt, die mit der der schönsten farbigen Gläser vergleichbar ist. Diese Durchsichtigkeit ist so gross, dass man bei Betrachtung der Sonne durch eine dünne Silberschicht deutlich und ohne die geringste Anstrengung die schwächsten Dünste wahrnimmt, die vor der Sonne vorüberziehen.

Herr Foucault schlägt desshalb vor, anstatt der bisherigen Sonnengläser versilberte Planparallelgläser anzuwenden oder da die Silberschicht als ein Medium ohne Dicke betrachtet werden kann, sogleich die äussere Fläche des Objectives zu versilbern. Durch letzteres Verfahren wird zwar das Fernrohr, wenigstens für einige Zeit, blos für einen Gegenstand geopfert; allein die grosse Aufmerksamkeit, welche

gegenwärtig der Beobachtung der Sonne zugewendet wird, zeigt, dass der Gegenstand ein solches Opfer werth sei.

(Compt. rend. LXIII. p. 413.)

---

## Vervielfältigung von Stereoscopbildern.

Herr Prof. E. Mach in Graz übersandte vor Kurzem der Wiener Academie ein Stereoscopbild, darstellend die Durchsicht eines dreiseitigen, in drei gleiche Pyramiden getheilten Prismas.

Dieses Bild wurde in folgender Weise angefertigt. Ein in drei Pyramiden geschnittenes Holzprisma wurde matt schwarz angestrichen und mit weissen, die Holztextur andeutenden Linien überzogen. Hievon wurde eine stereoscopische Photographie abgenommen.

Das photographische Bild zeigte natürlich eine fast reine Linearzeichnung mit sehr schwachen Schatten und Lichtern. Es eignete sich also zur Vervielfältigung durch Photozinkographie, welche auch vom Herrn Factor A. Knoblich wirklich ausgeführt wurde. Die Schatten und Lichter erhielt alsdann das Bild durch Farbendruck.

Es ist bereits mehrfach versucht worden, Druckwerke mit Stereoscopbildern auszustatten. Allein diese Versuche, sofern sie über die Darstellung geometrischer Figuren, für welche die Bilder einfach construirt werden können, hinausgehen, sind als ziemlich verunglückte zu betrachten. Die Vervielfältigung der Bilder durch Photographie bleibt immer kostspielig und schwerfällig; Lithographien nach photographischen Originalen aber sind immer sehr schlecht stereoscopisch, wenn sie auch noch so sorgfältig gearbeitet sind. Denn die Fleckchen und Pünctchen der beiden Bilder entsprechen gar nie demselben räumlichen Object.

Bringt man nun, statt die Bilder in Punct-, Linien- oder vermischter Manier auszuführen, die Puncte und Linien auf dem körperlichen Objecte an und erzeugt die Bilder durch Photozinkographie, so ist die Schwierigkeit gehoben.

Es gibt nun zahlreiche Objecte, die man wie das erwähnte Prisma behandeln kann, deren Stereoscopbilder aber viel deutlicher und werthvoller sind als Planzeichnungen.

(Anzeiger der Wiener Academie 1867 Nr. VI.)

---



## Acustisches Experiment von Stefan.

Herr Stefan hat im Wiener Academischen Anzeiger (1866 Nr. XIII) das folgende acustische Experiment bekannt gemacht:

Tönt eine Platte so, dass sie mit vier im fixen Centrum zusammenlaufenden Knotenlinien in vier Abtheilungen schwingt, so haben je zwei gegenüberliegende Abtheilungen der Platte zur selben Zeit Bewegungen in derselben, zwei neben einander liegende Bewegungen in entgegengesetzter Richtung. Es gehen also von den verschiedenen Stellen der Platte gleichzeitig Verdünnungen und Verdichtungen der Luft aus, die durch Interferenz sich schwächen, wesshalb der Ton der Platte intensiv ist. Er wird aber stärker, wenn man über zwei gegenüberliegende Abtheilungen die Hände hält oder einen aus zwei rechtwinkligen Sectoren bestehenden Fächer aus Pappe. Wird dieser über der Platte gedacht, so hört man abwechselnd den Ton anschwellen und verlöschen. Man kann so einfach die Schwebungen, das Trillern nachahmen.

Je rascher man den Fächer dreht, desto schneller folgen die Schwebungen auf einander, bis sie endlich nicht mehr unterschieden werden können. Dann verschwindet aber zugleich der Ton der Platte und an seine Stelle treten zwei, ein höherer und ein tieferer, die um so mehr vom primären Tone abweichen, je schneller der Fächer gedreht wird. Bei einer Platte, die den Ton $fis_1$ gibt, wurden bei zehn Umdrehungen in der Secunde zwei Töne erhalten, die nahe an $f_1$ und $g_1$ lagen.

Sind die Sectoren grösser oder kleiner als die Abtheilungen der Platte, so hört man auch den primären Ton mit. Meistens erscheint der höhere Ton als der intensivere.

Anstatt den Schirm vor der Platte zu drehen, kann man auch die Platte vor dem Schirm drehen, auch letzteren weglassen und nur die Platte allein drehen; denn bei einer vor dem Ohr langsam gedrehten Platte hört man den Ton abwechselnd anschwellen und verlöschen. Dasselbe ist bei einer Stimmgabel der Fall. Diese, in rasche Drehung versetzt, gibt dieselbe Erscheinung. Man kann auch eine Resonanzröhre vor die Platte oder Stimmgabel geben und dieselbe drehen, oder über Platte oder Stimmgabel vor der Resonanzröhre rotiren lassen.

Lässt man eine runde Platte in sechs, acht Abtheilungen schwingen, so zeigt sich dasselbe Phänomen, wenn man Fächer mit drei, vier Sectoren verwendet. Ein Fächer mit vier Sectoren vor einer

Platte, die in vier Abtheilungen schwingt, gedreht, zeigt das Phänomen nicht, ebenso nicht in Fächer mit zwei Sectoren vor einer Platte mit sechs, acht Abtheilungen.

Die Versuche wurden an der Schwungmaschine, an der Drehbank mit verschiedenen Platten, Stimmgabeln und Fächern gemacht.

Die Erscheinung kann auf folgende Weise erklärt werden. Die in Folge eines constanten einfachen Tones erzeugte Bewegung in einem mitschwingenden Körper kann dargestellt werden z. B. durch die Formel $a \sin 2n\pi t$, wenn $n$ die Schwingungszahl des Tones, $a$ die Amplitude. Aendert sich diese mit der Zeit, so ist sie ebenfalls von der Zeit $t$ abhängig. Aendert sie sich periodisch, so dass $n'$ Perioden auf die Secunde kommen, so kann man im einfachsten Falle $a$ durch $\alpha \sin 2n'\pi t$ ersetzen, worin $\alpha$ constant ist. Es lässt sich nun in $\alpha \sin 2n'\pi t \sin 2n\pi t$ das Product der Sinus auflösen in die Cosinus der Differenz und der Summe der beiden Winkel, welche zwei Ausdrücke dann einfache Schwingungen repräsentiren, gehörig zu Tönen von den Schwingungszahlen $n - n'$ und $n + n'$.

Dieser trigonometrischen Zerlegung obigen Ausdruckes entspricht hier ebenso die reale Zerlegung in zwei Töne, wie in den Erscheinungen der Drehung der Polarisationsebene des Lichtes einer analogen trigonometrischen Zerlegung die des einfachen Strahles in zwei circular polarisirte entspricht.

Die hier beobachteten Töne bilden eine neue Art von Combinationstönen, indem mit dem primären Tone der Rhythmus der Unterbrechung nach Summe und Differenz sich combinirt. Um diese Töne durch einen eigenen Namen von den anderen zu unterscheiden, könnte man sie etwa Interferenztöne nennen.

Später (in Nr. XXIII des Wiener Academischen Anzeigers) gibt Herr Stefan noch folgenden Nachtrag zu vorstehender Notiz:

Der Versuch mit dem vor einer Klangscheibe rotirenden Fächer wurde vom Verfasser zuerst ausgeführt, aber schon von Radau in einer Abhandlung über Combinationstöne (Moniteur scientifique 1865, p. 430) angegeben und auch sein Erfolg richtig vorausgesetzt. Der Verfasser wurde darauf aufmerksam gemacht durch einen Brief Radau's an Herrn Director von Littrow. In diesem wird auch die vom Verfasser für die secundären Töne vorgeschlagene Bezeichnung Interferenztöne als nicht passend bezeichnet und dafür der Name Variationstöne in Antrag gebracht.

Ein dem Versuche mit der rotirenden Klangscheibe analoger wurde schon von Savart gemacht (Annales de chimie 1837. XXXVI. 257). Savart bemerkte aber nur, dass der Ton rauher wird und in die Höhe geht. Der tiefere Ton entging ihm. Auch fand er nicht das die Tonerhöhung bestimmende Gesetz. — Der Versuch mit der rotirenden Stimmgabel wurde schon von den Brüdern Weber gemacht (Wellenlehre p. 510). Sie fanden aber statt der zwei Töne, welche die rotirende Gabel gibt, dass sie gar keinen gibt. In neuester Zeit hat Beetz diesen Versuch wiederholt. Er bemerkt, dass der Ton höher wird, der tiefere entging ihm ebenfalls. Die Erklärung der Erscheinung sucht Beetz auf ganz anderem Wege. (Pogg. Ann. 1866 Juliheft.) — Der Versuch mit einer vor der Stimmgabel rotirenden durchlöcherten Scheibe wurde zuerst von Helmholtz gemacht und erklärt (Tonempfindungen p. 597), dann von Mach in etwas verschiedener Form angegeben. (Wiener Anzeiger 1866, Nr. XIV.)

---

## Verschiedene Notizen.

(Hiezu Taf. V, Fig. 9a—9d.)

Im kgl. Antiquarium dahier wurde in jüngster Zeit ein altrömischer Zirkel angekauft, welchen Professor Brunn aus Rom hieher gebracht hat und der gewiss grosses historisches Interesse besitzt. Durch die Güte des Conservators genannter Anstalt, Professor Christ, wurde es dem Herausgeber ermöglicht, eine genaue Zeichnung dieses Zirkels anfertigen zu lassen, die auf Taf. V. Fig. 9a—9d wiedergegeben ist, wo die vier Seiten des Zirkels so dargestellt sind, dass eine weitere Erklärung nicht erforderlich sein wird.

---

Der Herausgeber hat durch die Güte des Herrn Professor Dellmann in Kreuznach dessen Electrometer im Originale zum Copiren erhalten und ist dadurch in den Stand gesetzt, dasselbe in der Werkstätte seiner physikalischen Anstalt vervielfältigen zu lassen. Das Instrument kostet genau und solid ausgeführt 60 fl. oder 80 fl. je nach der mehr oder weniger eleganten Ausstattung des Ganzen.

---

Herr Eichens, seit mehr als 20 Jahren der technische Leiter der Sécretan'schen Werkstätte, hat uns mitgetheilt, dass er nunmehr

in Paris (Rue Méchain 7, Ateliers Boulevard Saint Jacques 51) eine neue Werkstätte gegründet hat und auf eigene Kosten betreibt. Wir bringen dies unsern Lesern zur Kenntniss und möchten nur noch bei dieser Gelegenheit bemerken, dass Herr Eichens unter Anderem die Ausführung der im ersten Bande des Repertoriums beschriebenen grossen Instrumente für die Pariser Sternwarte, sowie der Foucault'schen Uhrregulatoren leitete.

---

## Literaturbericht.

Allgemeine Encyclopädie der Physik. Herausgegeben von G. Karsten. 19. Lieferung. Leipzig, Leopold Voss 1867.

Da wir unseren Lesern versprochen haben, mit dem Beginne des dritten Bandes des Repertoriums die Literatur des experimentalen Theiles der Physik ausführlicher als dies bisher geschehen ist, zu berücksichtigen, so ergreifen wir sogleich die Gelegenheit des Erscheinens der 19. Lieferung der Allgemeinen Encyclopädie der Physik, um über dieses für die Physiker äusserst wichtige Unternehmen unsern Lesern einen kurzen Bericht zu geben.

Die Encyclopädie der Physik wurde begonnen im Jahre 1856. Mit der vor Kurzem erschienenen 19. Lieferung liegen sechs Bände vollendet vor, zwei Bände sind dem Abschlusse nahe. Der Gegenstand der vollendeten Bände ist folgender:

Der II. Band bildet ein Lehrbuch der Krystallographie und ist von Dr. H. Karsten bearbeitet.

Der IX. Band, die physiologische Optik, hat Helmholtz zum Verfasser.

Der XV. Band, die Lehre vom Magnetismus, ist von Lamont bearbeitet.

Der XIX. Band behandelt die Fernewirkungen des galvanischen Stromes; der Bearbeiter desselben ist Professor v. Feilitzsch in Greifswalde.

Der XX. Band gibt die angewandte Electricitätslehre, bearbeitet von C. Kuhn in München.

Der XXI. Band enthält die Meteorologie, bearbeitet von E. E. Schmidt in Jena, mit einem Atlas von 21 Tafeln.

Begonnen sind der I. Band, welcher die allgemeine Physik, von G. Karsten, Harms und Weyer bearbeitet, enthält und dem Abschlusse nahe ist; ferner der V. Band, welcher ein Handbuch der angewandten Mechanik bildet und dessen Bearbeitung von Grashof übernommen wurde.

Der Hauptzweck des ganzen Unternehmens ist wohl im Allgemeinen der, das bereits veraltete Gehler'sche Wörterbuch für die Gegenwart zu ersetzen. Nur ist dabei die weniger geeignete Form des Wörterbuches verlassen worden und sind die einzelnen Abschnitte der Physik, wie aus dem Angeführten bereits hervorgeht, in gesonderten Bänden behandelt.

Die physikalische Originalliteratur ist zur Zeit zu einer solchen Ausdehnung angewachsen, dass eine vollständige Kenntniss derselben für das ganze Gebiet der Physik unmöglich geworden und schon für einzelne Parthien mit der grössten Schwierigkeit verbunden ist. Die Encyclopädie hat sich aber eben die grosse Aufgabe gestellt, durch in den einzelnen Zweigen bewanderte Fachmänner die gesammte Literatur der Physik zu sammeln und systematisch geordnet ihren Lesern vorzulegen. Sie ist dabei jedoch nicht blos ein bibliographisches Sammelwerk, wie etwa die Engelmann'schen Bibliotheken, denen wir übrigens ihren Werth und ihr Verdienst durchaus nicht absprechen wollen; sie soll vielmehr zugleich ein Handbuch für die gesammte Physik im ausgedehntesten Sinne bilden. Um unsern Lesern vor Augen zu führen, wie dieses Ziel durch das Unternehmen erreicht werden soll, halten wir es für das Geeignetste, das hierher Bezügliche aus dem Prospectus, welcher den einzelnen Lieferungen beigefügt ist, wörtlich wiederzugeben:

„In der Encyclopädie der Physik, heisst es in demselben, soll ein systematisches Werk gegeben werden, wie wir es in einem Handbuche besitzen; dieselbe soll die Vollständigkeit darbieten, wie ein Wörterbuch vom ausgedehntesten Umfange, und sie soll auch jeden Theil der Physik bis auf den Standpunkt des gegenwärtigen Augenblickes fortführen.

Die äussere Einrichtung, welche geeignet scheint, die genannten Vortheile zu erzielen, und welche demnach diejenige der Encyclopädie sein wird, lässt sich am kürzesten als ein Aneinanderreihen von Handbüchern über die einzelnen physikalischen Disciplinen in der Weise, dass durch sie das ganze Gebiet der Wissenschaft ausgefüllt wird, bezeichnen. Doch sollen jene einzelnen Handbücher nicht lose neben einander stehen, sondern in der Bearbeitung nach einem gemeinsamen Plane ihren Verband erhalten und als Ganzes ein System der Physik bilden.

Zunächst sind 21 solcher Handbücher oder Bände beabsichtigt, welche also als Capitel des befolgten physikalischen Systems zu betrachten sind, nämlich:

1) Einleitung in die Physik (Literatur, speculative Physik, Maass und Messen, allgemeine Physik); 2) Krystallographie; 3) Allgemeine Kräftelehre; 4) Stoffanziehung in die Ferne und in die Nähe; 5) Angewandte Mechanik; 6) Wellenlehre und Akustik; 7) und 8) Reine Optik; 9) Physiologische Optik; 10) Chemische Wirkung des Lichtes; 11) Angewandte Optik; 12) Wirkungen der Wärme; 13) Theorie der Wärme; 14) Angewandte Wärmelehre; 15) Magnetismus; 16) Erdmagnetismus; 17) Reibungselectricität; 18) Galvanismus; 19) Electromagnetismus, Induction; 20) Angewandte Electricitätslehre; 21) Meteorologie.

Das System ergibt sich unmittelbar aus der aufgeführten Ordnung. Die Unabhängigkeit der einzelnen Theile macht es möglich, dieselben bis auf die neueste Zeit fortzusetzen oder solche Theile, die sich rasch entwickeln, durch eine neue Bearbeitung zu ersetzen, ohne dadurch eine Störung für die übrigen Abtheilungen hervorzurufen, endlich auch neue Gebiete einzuschalten. Diese Unabhängigkeit der Bände von einander lässt ferner einen bei Sammelwerken fast immer hemmenden Umstand vermeiden, den nämlich, dass das Erscheinen eines in der systematischen Folge spätern Bandes nicht von der Vollendung der früheren abhängig ist.

So viel vom Plane des Ganzen. Was nun die in den einzelnen Bänden befolgte Methode der Bearbeitung anlangt, so wird diese nach der Natur der verschiedenartig zu behandelnden Gegenstände in manchen Stücken verschieden sein. Indessen sind einige Grundsätze als Norm festgestellt, welche die Encyclopädie von den bisherigen Sammelwerken unterscheiden werden und von denen einige hier erwähnt werden mögen.

Erstlich wird soviel als möglich eine Trennung der feststehenden Thatsachen und Theorien von dem mathematischen und experimentellen Beweise derselben durchgeführt. Hierzu ist eine besondere Einrichtung des Druckes angeordnet. Jeder Paragraph zerfällt nämlich in vier Haupttheile. In dem ersten, mit den grössten Lettern gedruckten, werden die feststehenden Thatsachen, die gültigen Gesetze, Theorien, Hypothesen referirt, aber im Allgemeinen ohne Anwendung des Calcüls. Der Zweck ist zunächst der, dass auch dem nicht mathematischen Publikum das Werk eine klare Uebersicht gewähre, wie sie sonst nur ein sogenanntes populäres Buch bieten kann; sodann aber ist es auch oft dem Physiker und Mathematiker willkommen, eine Darstellung der Resultate ohne die Rechnung vor sich zu haben.

Diesem ersten Theile schliessen sich, mit successive kleineren Lettern gedruckt, die Ausführungen der im ersten Theile des Paragraphen mitgetheilten Resultate an; sie bilden den eigentlichen Kern des Werkes für Alle, welche sich thätig mit irgend einer physikalischen Disciplin beschäftigen wollen, seien sie Physiker, oder Gelehrte anderer Fächer oder Techniker.

Es folgt nämlich zuerst die Theorie, wie sie am leichtesten und klarsten zum Ziele führt mit elementarem oder höherem Calcüle; darauf die Beobachtung, das Experiment und der Apparat; schliesslich Geschichte und Literatur.

Selbstverständlich kann diese Eintheilung des Stoffes nicht überall streng durchgeführt werden, vielmehr wird je nach der Natur des Gegenstandes bald der eine, bald der andere Theil hinwegfallen, indessen gilt die angeführte Bearbeitungsart als die Regel.

Zweitens wird auf die Beschreibung des Experimentes, besonders aber auf die des Apparates vorzügliche Sorgfalt verwendet werden. Desswegen werden die wichtigen Instrumente im Kupferstich und mit genauen Maassverhältnissen abgebildet, so dass sie als technische Vorlagen dienen können. Systematische Figuren dagegen oder Abbildungen, bei denen es auf die Dimensionen nicht genau ankommt, werden,

im Holzschnitt ausgeführt, in den Text gedruckt. Letzteres soll zur Bequemlichkeit des Lesers dienen, ersteres dem gewiss von vielen Seiten gehegten Wunsche entgegenkommen, Mechanikern, die man zur Hand hat, die Ausführung solcher Apparate übertragen zu können, die sonst nur durch oft nicht ausführbares Verschreiben von fernen Orten zu beziehen sein würden.

Auf einen Theil der Physik, der bisher wenig berücksichtigt worden ist, wenn wir auch in deutschen Werken einzelne gute Vorarbeiten besitzen, wird drittens besonderes Gewicht gelegt werden, nämlich: auf die Geschichte und Literatur. Abgesehen von dem Interesse, welches die Kenntniss von der historischen Entwickelung der wissenschaftlichen Fortschritte an und für sich darbietet, ist es auch von offenbarem Nutzen, die früheren Arbeiten auf einem Gebiete überblicken zu können, um so mehr als durch die Zersplitterung der Literatur in unzähligen periodischen Schriften es immer schwieriger für den Gelehrten wird, sich vollständig zu orientiren. Bei diesem verhältnissmässig neuen Theile des Werkes wird es an Lücken nicht fehlen, die indessen, wenn unsere Ansicht von der Bedeutung der Geschichte und Literatur der Physik die richtige ist, sich bald füllen werden."

Vergleichen wir diesen Plan mit den bereits erschienenen Bänden, so können wir nicht umhin, hervorzuheben, dass in Bezug auf Vollständigkeit der Literatur Bedeutendes geleistet wurde, und wollen zum Belege dieses Satzes nur anführen, dass die angewandte Electricitätslehre von Kuhn 1393 Seiten, die Meteorologie von Schmidt 1009 Seiten, die Fernewirkungen des galvanischen Stromes von Feilitzsch, 834 Seiten, die physiologische Optik von Helmholtz 874 Seiten, der Magnetismus von Lamont (ohne den Erdmagnetismus) 468 Seiten grössten Octavformates enthält. So gerne wir unseren Lesern Näheres über die einzelnen Bände mittheilen würden, so verbietet es uns für dieses Heft doch der Umstand, dass hiedurch zu viel von unserem Raume für eine Sache weggenommen würde, für deren Güte schon die Vergleichung der Namen der Bearbeiter mit dem von ihnen bearbeiteten Gegenstande bürgt. Wir gedenken jedoch auf die drei jüngst vollendeten Bände in einem unserer nächsten Literaturberichte zurückzukommen. Am wenigsten ist der Punct des angeführten Planes erfüllt, nach welchem genaue Abbildungen der Apparate in Kupferstich gegeben werden sollen; und wenn wir noch einen Wunsch aussprechen dürften, so bezöge sich derselbe darauf, dass das Erscheinen der einzelnen Lieferungen etwas mehr beschleunigt werden möchte.

---

Schellen. Der electromagnetische Telegraph. Vierte Auflage. Braunschweig bei Vieweg & Sohn. 1867.

Das Werk von Schellen hat sich in seinen drei ersten Auflagen, namentlich bei den Praktikern im Telegraphenwesen eine solche An-

erkennung verschafft, dass es eigentlich genügen würde, unsere Leser darauf hinzuweisen, dass eine neue bis auf die Gegenwart weitergeführte Auflage erschienen ist. Die gegenwärtige Auflage ist aber an Reichhaltigkeit des Stoffes gegen die dritte zu sehr gewachsen, als dass wir unterlassen könnten, dies besonders hervorzuheben. Der erste Abschnitt bildet wie bei den früheren Auflagen gleichsam ein kurzes Lehrbuch der gesammten Electricitätslehre mit Berücksichtigung auf Telegraphie und es sind darin namentlich die für das Telegraphenwesen wichtigen galvanometrischen Apparate sowie die Hilfsmittel zur telegraphischen Leitung vorzüglich behandelt. In den übrigen Abschnitten sind ausser den neuesten Zeiger- und Schreibapparaten auch die chemischen Telegraphen (von Caselli und Bonelli), die Typendrucktelegraphen (von Hughes), die Doppelsprechapparate, sowie die Läutewerke, die Hôtel- und Haustelegraphen sehr ausführlich beschrieben.

Aufgefallen ist uns nur ein Punct und zwar sogleich in der Vorrede, in welcher der Herr Verfasser sagt, dass er die Werke von Du Moncel, Blavier, Gavarret, Dub (nicht Dubb), Rother benützt habe, während die entschieden vollständigste Arbeit über Telegraphie, die den dritten Abschnitt der angewandten Electricitätslehre von C. Kuhn bildet, gar nicht erwähnt wird.

Beifügen wollen wir noch, dass jüngst vom gleichen Herrn Verfasser eine Schrift unter dem Titel: „Das atlantische Kabel, seine Fabrication, seine Legung und seine Sprechweise" erschienen ist, welche als eine sehr schöne Ergänzung obigen Werkes betrachtet werden kann.

---

Lehrbuch der technischen Physik von Dr. J. Ferdinand Hessler, nach dem Tode des Verfassers fortgesetzt und umgearbeitet von Dr. Fr. Jos. Pisko. Dritte Auflage in zwei Bänden. Wien Braumüller 1866.

Unsere Literatur ist gegenwärtig reich an guten Lehrbüchern der Physik und doch können wir nicht umhin, unsere Leser auf das vorliegende Werk besonders aufmerksam zu machen.

Die neue Auflage des Hessler'schen Lehrbuches hat im Laufe des Druckes ein eigenthümliches Schicksal erlebt; nach Beendigung des ersten Bandes starb der verdienstvolle Verfasser. Die Verlagshandlung hat die Weiterführung des begonnenen Werkes Herrn Professor Pisko übertragen und wir können diese Wahl nur gutheissen.

Der zweite Band zeigt gegen den ersten eine wesentliche Erweiterung, welche wir vor Allem hervorheben zu müssen glauben; es ist nämlich jedem Abschnitte die wichtigste Literatur in sehr zweckmässiger Auswahl beigefügt, so dass der angehende Physiker sich leicht in der wissenschaftlichen Originalliteratur zurecht finden wird.

Das Werk berücksichtigt seiner Bestimmung zufolge mit besonderer Vollständigkeit die technischen Anwendungen der Physik und es ist auch auf die Beschreibung der Apparate und Instrumente und deren Gebrauch grosse Sorgfalt verwendet worden. Dabei finden sich die neuesten Forschungen und Apparate überall berücksichtigt; wir wollen als Beleg dafür blos den Membranen- und Stimmgabel-Phonautographen, den Tonflammenapparat, die photographisch-registrirenden Instrumente (Thermometer und Magnetometer), den Foucault'schen Heliostaten, die Thermosäule nach Marcus, die Thomsen'schen Polarisationsbatterie namentlich anführen.

Wir können nur wünschen, dass der überdies sehr schön ausgestatteten neuen Auflage der Hessler'schen Physik der gleiche Erfolg zu Theil werden möge, dessen sich die beiden früheren Auflagen in so reichem Maasse erfreuten.

---

Die Schule der Mechanik. Von J. Bauschinger, Professor am k. Realgymnasium in München. München R. Oldenbourg. 1866.

Der Herr Verfasser hat in dem vorliegenden Werke nicht blos, wie dies in vielen anderen elementaren Lehrbüchern der Mechanik der Fall ist, die allgemeinen Sätze dieser Wissenschaft auf möglichst elementarem Wege herzuleiten gesucht; er hat ausserdem die Anwendungen derselben in der grössten Ausdehnung und Ausführlichkeit, sowie mit beständiger Rücksicht auf das praktische Leben behandelt. Das ganze Werk zerfällt in zwei Abtheilungen, deren erste die Grundlehren der Mechanik im Allgemeinen und der Mechanik fester Körper im Besonderen gibt, während die zweite Abtheilung die Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper behandelt. Namentlich die fünf letzten Abschnitte dieser zweiten Abtheilung haben wir mit besonderem Interesse gelesen; sie enthalten die Maschinen zum Heben der Flüssigkeiten, die Anwendung des Wassers als Motor, die Maschinen zur Bewegung der Gase, die Anwendung des Windes und die Anwendung

des Dampfes als Motoren. In diesen fünf Abschnitten hat der Herr Verfasser hinlänglich gezeigt, dass er nicht blos Theoretiker, sondern auch Praktiker ist und dass er die beschriebenen Maschinen nicht blos aus Schulmodellen kennt.

Der Herr Verfasser hat in dieser zweiten Ausgabe seines Buches auch an mathematischen Formeln mehr als in der früheren Auflage gegeben und dabei die allgemein zu empfehlende Einrichtung getroffen, dass die betreffenden Stellen kleiner als der Haupttext gedruckt sind und beim Lesen sogar überschlagen werden können, ohne dass der Zusammenhang gestört würde. Auch auf die Bedürfnisse des Militärs ist eingehende Rücksicht genommen; kurz, das Werk ist nicht blos ein Hilfsbuch für den praktischen Mechaniker und Handwerker, sondern es eignet sich auch ganz besonders für die Einführung an mittleren technischen Lehranstalten. Dabei empfiehlt sich aber das Buch auch noch durch seinen Preis; es enthält 996 Seiten mit 636 sehr schön ausgeführten Holzschnitten und kostet nicht mehr als $1^1/_2$ Thaler.

---

Abhandlungen zu der Lehre von der Reibungselectricität von P. Th. Riess. Berlin bei Hirschwald 1867.

Herr Professor Riess hat die dankenswerthe Arbeit unternommen, seine seit 1853 veröffentlichten Abhandlungen über Reibungselectricität, für diejenigen, welche sich näher für diesen Gegenstand interessiren, in Einem Bande gesammelt erscheinen zu lassen. Dabei ist die zweckmässige Anordnung getroffen, dass dieser Band einen Nachtrag zu dem allgemein bekannten Werke von Riess: „Die Lehre von der Reibungselectricität“ bildet, indem durch Capitel und Paragraphe dieses Werkes die Stellen bezeichnet sind, an welche die einzelnen Abhandlungen hingehören.

---

Du Moncel. Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff. Cinquième édition. Paris Gauthier Villars 1867.

Die erste Auflage dieses Werkes war eine kleine Schrift von wenigen Bogen, aus welchem jetzt ein Band von 400 Seiten geworden ist, welcher nicht blos eine genaue Beschreibung der Inductionsapparate für hohe Spannung gibt, sondern die an diesen Apparaten hervorgebrachten Erscheinungen in grosser Vollständigkeit behandelt.

---

# Theorie der Eingriffe gezahnter Räder.

Von

**P. A. Hansen.**

(Hiezu Tafel VI und VII.)

(Vom Herrn Verfasser aus den Berichten der kgl. sächsischen Gesellschaft gütigst mitgetheilt.)

In allen Maschinen, in deren Einrichtung gezahnte Räder vorkommen, die in einander greifen, und einander fortbewegen sollen, ist es von Wichtigkeit, dass den Zähnen eine solche Figur gegeben werde, dass die Bewegung den dafür aufzustellenden Bedingungen entspricht und man hat sich aus diesem Grunde schon vor langer Zeit mit der Aufgabe beschäftigt, die richtige Figur der Räderzähne herzuleiten. Namentlich in den Schriften, die für Techniker bestimmt sind, in den Werken über die Uhrmacherkunst, und in denen über den Maschinenbau, findet man die hierauf sich beziehenden Erklärungen und Anweisungen, und zwar in verschiedener Ausdehnung, je nach dem Plan und dem Umfange des Werks. In keiner Schrift dieser Gattung, die mir vor Augen gekommen ist, habe ich jedoch eine allgemeine mathematische Theorie der Rädereingriffe angetroffen, sondern nur specielle Fälle, die mehr oder weniger mathematisch bewiesen werden, und mit Anleitung zur Ausführung derselben versehen sind. Aber auch in denjenigen theoretisch-mechanischen Werken, die ich kenne, habe ich vergeblich nach der allgemeinen Theorie gesucht. Da es wohl manchen Andern eben so gegangen sein mag, so habe ich für nicht überflüssig gehalten, die allgemeinen mathematischen Bedingungen des richtigen Rädereingriffs abzuleiten, und daraus die üblichsten Gattungen von Eingriffen zu erklären. Es zeigt sich nemlich, dass die allgemeine Aufgabe unbestimmt ist, und dass man im Allgemeinen zu jeder beliebigen

Form, die man den Zähnen des einen Rades giebt, eine entsprechende Form der Zähne des andern Rades finden kann, die theoretisch richtig ist, obwohl viele so erhaltene Formen praktisch unausführbar sein werden.

---

Die Figur 1 stellt zwei, in Einer Ebene liegende, und an ihren äussern Rändern mit Zähnen versehene Rädersegmente dar, die vermittelst dieser Zähne in einander greifen, und von welchen das eine das andere mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit, wenn es selbst mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewegt wird, und mit stets gleicher Kraftäusserung fortbewegen, oder führen soll.

Abgesehen von allem Uebrigen ist an sich klar, dass zur Hervorbringung einer stetigen Bewegung, oder Führung, die Zähne eines jeden dieser beiden Räder für einen gewissen Halbmesser eines jeden derselben gleiche Weite haben müssen, denn wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, so wird die Führung stossweise, also ungleichförmig vor sich gehen. Nennen wir diese beiden Halbmesser $\gamma$ für das Rad $F$, und $c$ für das Rad $G$, so ist ferner klar, dass die Kreise, die mit diesen Halbmessern aus den Mittelpuncten der beiden Räder beschrieben werden, einander berühren müssen. Da ferner die Umdrehungszeiten der beiden Räder nothwendig im umgekehrten Verhältniss der Zähne eines jeden derselben stehen müssen, so folgt, dass die Halbmesser $\gamma$ und $c$ im graden Verhältnisse der Anzahl der Zähne zu einander stehen müssen. Die Kreise, die mit den Halbmessern $\gamma$ und $c$ beschrieben werden, sollen die Theilkreise heissen.

Seien in der Figur 2 $ABCA$ der Theilkreis des Rades $F$, und $F$ der Mittelpunct desselben, ferner $ADEA$ der Theilkreis des Rades $G$, und $G$ der Mittelpunct desselben, ferner $A$ der Berührungspunct der beiden Theilkreise. Sei ausserdem $Ff$ und dessen Verlängerung über $f$ hinaus, eine beliebige, aber mit dem Rade $F$ fest verbundene Grade, und $fhi$ eine damit fest verbundene Curve, die die Figur eines der Zähne dieses Rades vorstellt. Für das Rad $G$ sollen $Gg$ und $ghk$ dieselbe Bedeutung haben. In dem Augenblick, wo der Winkel $fFA = \alpha$, und der Winkel $gGA = a$ ist, soll $h$ der Berührungspunct der beiden Zähne sein. Die Winkel $\alpha$ und $a$ sind also die Winkelbewegungen der beiden Räder von den beiden Zeitpuncten an, in deren Einem die Grade $Ff$, und in deren Anderem $Gg$ mit der Graden $FG$

zusammen fielen, bis zu dem Zeitpunct, den die Figur darstellt. Sei nun gleichzeitig

$$a = 0, \text{ und } \alpha = \beta$$

so erhalten wir, da die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Räder den Halbmessern $FA = \gamma$ und $GA = c$ umgekehrt proportional sein müssen, die Gleichung

$$ca = \gamma(\alpha - \beta). \quad \ldots \quad (1)$$

Sei der Radius $Fh = \varrho$ und der Winkel $fFh = \varphi$, dann sind $\varrho$ und $\varphi$ die Polarcoordinaten der Zahncurve des Rades $F$, seien ferner $hG = r$ und der Winkel $gGh = v$, dann sind $r$ und $v$ die Polarcoordinaten der Zahncurve des Rades $G$. Bezieht man nun den Berührungspunct der Zahncurven $h$ auf rechtwinklige Coordinaten, die ihren Anfangspunct im Punct $A$ haben, und lassen die positive $x$-Achse mit der Linie $AG$ zusammen fallen, dann ist erstlich für den Punct $h$

$$\left.\begin{aligned} x &= c - r\cos(a + v) \\ y &= \phantom{c - {}} r\sin(a + v) \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (2)$$

Dieselben Coordinaten kann man auch, wie leicht aus der Figur hervorgeht, durch Grössen ausdrücken, die dem Rade $F$ angehören, und man findet auf diese Weise

$$\begin{aligned} x &= \varrho\cos(\alpha - \varphi) - \gamma \\ y &= \varrho\sin(\alpha - \varphi). \end{aligned}$$

Hieraus ergeben sich die beiden folgenden Gleichungen

$$\begin{aligned} c - r\cos(a + v) &= \varrho\cos(\alpha - \varphi) - \gamma \\ r\sin(a + v) &= \varrho\sin(\alpha - \varphi) \end{aligned}$$

die man leicht in die folgenden umwandeln kann,

$$\left.\begin{aligned} \varrho\cos\varphi &= (\gamma + c)\cos\alpha - r\cos(a + \alpha + v) \\ \varrho\sin\varphi &= (\gamma + c)\sin\alpha - r\sin(a + \alpha + v) \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (3)$$

in welcher Form sie zu den Anwendungen am Geeignetesten sind.

Das Haupterforderniss eines richtigen Rädereingriffs besteht darin, dass das Verhältniss der Kräfte, mit welchen die beiden Räder auf einander wirken, während der ganzen Bewegung derselben constant, und dem Verhältniss der beiden Halbmesser der Theilkreise $\gamma$ und $c$ zu einander gleich sei. Drücken wir diese Bedingung geometrisch aus. Sei $HJ$ die gemeinschaftliche Normale der beiden Zahncurven $fhi$ und $khg$ an ihrem Berührungspunct $h$, und $FH$ und $JG$ senkrecht auf $HJ$, dann ergibt sich aus der Dynamik, dass die Kraft, mit welcher das Rad $F$ auf das Rad $G$ wirkt, oder dasselbe führt, zu der Kraft, mit

welcher $G$ auf $F$ wirkt, sich verhält wie $FH$ zu $JG$. Es wird daher zufolge des Vorhergehenden

$$\frac{FH}{JG} = \frac{\gamma}{c}$$

und um diese Bedingung zu erfüllen ist es nothwendig, dass die Normale $HJ$ durch den Berührungspunct $A$ der beiden Theilkreise gehe. Seien $u$ und $w$ die laufenden, rechtwinkligen Coordinaten dieser Normale, dann ist ihre Gleichung

$$y - w = -\frac{dx}{dy}(x - u)$$

wenn bei den Differentiationen $a$ und $\alpha$ constant gesetzt werden. Im Punkt $A$ ist aber $u = 0$, $w = 0$, und folglich wird die vorstehende Gleichung

$$0 = x + y\frac{dy}{dx}.$$

Die Differentiation der Gleichungen (2) gibt, wenn $a$ constant gesetzt wird,

$$(4) \quad \ldots \quad \frac{dy}{dx} = -\frac{dr\sin(a+v) + r dv\cos(a+v)}{dr\cos(a+v) - r dv\sin(a+v)}$$

und hiemit, so wie mit Zuziehung der Gleichungen (2), wird die vorstehende Bedingungsgleichung

$$(5) \quad \ldots \quad r dr = c dr\cos(a+v) - c r dv\sin(a+v).$$

Es ist leicht einzusehen, dass diese Gleichungen, die durch Grössen ausgedrückt worden sind, die dem Rade $G$ angehören, auch durch Grössen, die dem $F$ angehören, ausgedrückt werden können.

Man findet leicht auf dieselbe Weise wie vorher statt der Gleichungen (3) die folgenden

$$(6) \quad \ldots \left\{\begin{array}{l} r\cos v = \quad (c+\gamma)\cos a - \varrho\cos(a+\alpha-\varphi) \\ r\sin v = -(c+\gamma)\sin a + \varrho\sin(a+\alpha-\varphi) \\ \text{statt der (4)} \\ \dfrac{dy}{dx} = \dfrac{d\varrho\sin(\alpha-\varphi) - \varrho d\varphi\cos(\alpha-\varphi)}{d\varrho\cos(\alpha-\varphi) + \varrho d\varphi\sin(\alpha-\varphi)} \\ \text{und statt der (5)} \\ \varrho d\varrho = \gamma d\varrho\cos(\alpha-\varphi) + \gamma\varrho d\varphi\sin(\alpha-\varphi) \end{array}\right.$$

Diese sind aber keine neuen unabhängigen Gleichungen, sondern sie sind in den Vorhergehenden enthalten.

Die Gleichungen (1), (3), (5), oder, wenn man will, die Gleichungen (1) und (6) sind die Grundgleichungen der Theorie der Rädereingriffe, und jede Figur der Räderzähne, die diesen Gleichungen nicht genügt,

ist unrichtig. Man erkennt aus diesen Gleichungen leicht, dass die Aufgabe unbestimmt ist und dass man irgend eine Relation einführen muss um sie bestimmt zu machen. Diese, die theoretisch betrachtet ganz willkührlich ist, kann darin bestehen, dass man die Figur der Zähne des einen Randes beliebig annimmt, oder dass man sonst eine Relation zwischen den Veränderlichen oder einigen derselben beliebig annimmt. Aber nicht jede Relation oder jede Figur der Zähne des einen Rades gibt eine brauchbare Auflösung, oder anwendbare Figur der Zähne des anderen Rades, und im Ganzen kennt man bis jetzt nur einige wenige Bedingungen, die anwendbare Auflösungen geben. Davon sollen jetzt die wichtigsten betrachtet, und eine neue denselben hinzugefügt werden.

---

## Erster Fall.

Eine sehr einfache Bedingung, die man für die Figur der Zähne des Rades $G$ aufstellen kann, ist die, dass die Curve $ghk$ eine beliebige grade Linie sein soll.

Sei $P$ die Entfernung des Durchschnittspuncts dieser Graden mit den Graden $gG$ vom Puncte $G$, und $p$ der Winkel, den sie mit $gG$ macht, dann findet man leicht, dass ihre Gleichung wie folgt dargestellt werden kann,

$$\begin{aligned} r\cos v &= P + s\cos p \\ r\sin v &= \phantom{P + {}} s\sin p \end{aligned}$$

wenn $s$ die Entfernung des Puncts, dem die Coordinaten $r$ und $v$ angehören, von dem oben genannten Durchschnittspunct bedeutet. Diese Gleichungen geben

$$\begin{aligned} dr &= ds\cos(p-v) \\ r\,dv &= ds\sin(p-v) \\ r\,dr &= ds\,(s+P\cos p). \end{aligned}$$

Substituirt man diese Ausdrücke in die Gleichung (5), so wird diese

$$s + P\cos p = c\cos(p+a)$$

und eliminirt man hiemit $s$ aus den Gleichungen der angenommenen Graden, so erhält man

$$\begin{aligned} r\cos v &= P\sin^2 p + c\cos(p+a)\cos p \\ r\sin v &= -P\sin p\cos p + c\cos(p+a)\sin p \end{aligned}$$

woraus sich leicht

$$r\cos(a+\alpha+v) = P\sin p\sin(a+\alpha+p) + c\cos(p+a)\cos(a+\alpha+p)$$

$$r \sin(a + \alpha + v) = -P \sin p \cos(a + \alpha + p) + c \cos(p + a) \sin(a + \alpha + p)$$

oder

$$r \cos(a + \alpha + v) = P \sin p \sin(a + \alpha + p) + \tfrac{1}{2} c \cos(2a + \alpha + 2p) + \tfrac{1}{2} c \cos \alpha$$

$$r \sin(a + \alpha + v) = -P \sin p \cos(a + \alpha + p) + \tfrac{1}{2} c \sin(2a + \alpha + 2p) + \tfrac{1}{2} c \sin \alpha$$

ergibt. Substituirt man diese in die Gleichungen (3), und eliminirt $a$ durch die Gleichung (1), so bekommt man

$$\varrho \cos \varphi = (\gamma + \tfrac{1}{2} c) \cos \alpha - \tfrac{1}{2} c \cos\left(\frac{2\gamma + c}{c} \alpha - \frac{2\gamma}{c} \beta + 2p\right) - P \sin p \sin\left(\frac{\gamma + c}{c} \alpha - \frac{\gamma}{c} \beta + p\right)$$

$$\varrho \sin \varphi = (\gamma + \tfrac{1}{2} c) \sin \alpha - \tfrac{1}{2} c \sin\left(\frac{2\gamma + c}{c} \alpha - \frac{2\gamma}{c} \beta + 2p\right) + P \sin p \cos\left(\frac{\gamma + c}{c} \alpha - \frac{\gamma}{c} \beta + p\right)$$

oder

$$\varrho \cos \varphi = (\gamma + \tfrac{1}{2} c) \cos \alpha - \tfrac{1}{2} c \cos \frac{2\gamma + c}{c} \alpha - P \sin \frac{\gamma}{c} \beta \sin \frac{\gamma + c}{c} \alpha$$

$$\varrho \sin \varphi = (\gamma + \tfrac{1}{2} c) \sin \alpha - \tfrac{1}{2} c \cos \frac{2\gamma + c}{c} \alpha + P \sin \frac{\gamma}{c} \beta \cos \frac{\gamma + c}{c} \alpha$$

wenn man

$$\beta = \frac{c}{\gamma} p$$

setzt, welches hier erlaubt ist, und nur einer Drehung der Linie $gG$ auf dem Rade $G$ gleichkommt, die der angenommenen Graden wegen erlaubt ist. Die beiden vorstehenden Gleichungen sind nun die Gleichungen der Zahncurve $fhi$ des Rades $F$, und diese Curve gehört, wie man sieht, der Gattung der Epicyceln an. Sieht man mit Belassung des Anfangspuncts der Coordinaten in $F$ die Grade $Ff$ und ihre Verlängerung als die Abscissenachse an, und legt die Ordinatenachse senkrecht darauf, so ist $\varrho \cos \varphi$ die Abscisse und $\varrho \sin \varphi$ die Ordinate irgend eines Puncts dieser Curve.

Man kann diese Auflösung vereinfachen, wenn man die angenommene Grade, deren Lage bis jetzt willkührlich gelassen wurde, so bestimmt, dass sie durch den Mittelpunct $G$ des Rades $G$ geht. Hiemit wird $P = 0$, und die obigen Gleichungen gehen über in

$$\left.\begin{aligned}\varrho\cos\varphi &= (\gamma + \tfrac{1}{2}c)\cos\alpha - \tfrac{1}{2}c\cos\frac{2\gamma+c}{c}\alpha \\ \varrho\sin\varphi &= (\gamma + \tfrac{1}{2}c)\sin\alpha - \tfrac{1}{2}c\sin\frac{2\gamma+c}{c}\alpha\end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (7)$$

wodurch die Zahncurve $fhi$ eine Epicycloide geworden ist, deren Grundkreis $\gamma$, und deren Rollkreis $\frac{1}{2}c$ zum Halbmesser hat. Die als Zahncurve $ghk$ des Rades $G$ angenommene, durch den Mittelpunct $G$ gehende Grade kann jetzt als eine Hypocycloide definirt werden, deren Grundkreis $c$ und deren Rollkreis wie jene $\frac{1}{2}c$ zum Halbmesser hat. Es folgt aus der Ableitung von selbst, dass man um den Eingriff auf der anderen Seite der Graden $FG$ fortsetzen zu können, die angenommene Grade in der That als die eben bezeichnete Hypocycloide betrachten muss, nämlich nur bis zum Umfange des Theilkreises $ADEA$ fortsetzen darf, und dass sich dort eine Epycicloyde anschliessen muss, deren Grundkreis $c$, und deren Rollkreis $\frac{1}{2}\gamma$ zum Halbmesser hat. Gleicherweise muss sich an die für die Zähne des Rades $F$ eben gefundene Epicycloide eine Hypocycloide anschliessen, deren Grundkreis $\gamma$, und deren Rollkreis $\frac{1}{2}\gamma$ zum Halbmesser hat, oder mit anderen Worten eine grade nach dem Mittelpunct $F$ gerichtete Linie. Es fallen hier, wie man sieht, die Grundkreise der Zahncurven mit den Theilkreisen zusammen.

Diese Art des Rädereingriffes ist die, welche in den Uhren — mit etwaiger Ausnahme der Thurmuhren — seit langer Zeit angewandt worden ist. Man erkennt leicht, dass mit Ausnahme der Fälle, wo die Berührung der Zähne im Punct $A$ stattfindet, dieser Eingriff einen Seitendruck auf die in $F$ und $G$ befindlichen Zapfen ausübt, um welche sich die Räder bewegen, welcher die Entfernung $FG$ zu vergrössern strebt, denn die Normale $HJ$ macht, mit der eben erwähnten Ausnahme, immer einen schiefen Winkel mit der Linie $FG$. Dieser Seitendruck bewirkt, dass im Laufe der Zeit die Zapfenlöcher sich erweitern, und die Entfernung $FG$ immer grösser wird. Aber diese Entfernung braucht sich nur sehr wenig zu vergrössern, um schon zu bemerken, dass der Eingriff unrichtig wird und das eine Rad das andere gar nicht mehr führen kann; diese Erweiterung, oder das sogenannte Auslaufen der Zapfenlöcher, ist häufig die Ursache des Stillestehens der Uhren.

Vorzugsweise tritt dieser nachtheilige Umstand ein, wenn die Führung schon vor der Mittelpunctslinie — der Linie $FG$ der Figur 2 — stattfindet, indem dann, entweder durch unregelmässige Bearbeitung



der Zähne, oder durch eine mit der Zeit entstandene Vergrösserung der Entfernung *F* von *G*, ein Aufstossen der Zähne auf einander erfolgt, wodurch eine Erschwerung oder gar eine Stockung der Führung, folglich auch der Bewegung entsteht. Wenn nämlich die Entfernung *F* von *G* sich vergrössert hat, so nimmt die gemeinschaftliche Normale am Berührungspunct *HJ* eine andere Lage ein, der Winkel derselben mit *FG* verkleinert sich, und sie geht nicht mehr durch den Punct *A*. Nun ist aber leicht einzusehen, dass wenn die Lage dieser Normale sich so geändert hat, dass sie durch den Punct *F* statt durch *A* geht, eine vollständige Stockung der Führung eintreten muss. In den Fällen, in welchen die Führung nach dem Durchgang durch die Mittelpunctslinie stattfindet, wirken die genannten Umstände zwar auch störend auf die gleichförmige Führung ein, allein es sind hier die Nachtheile weit geringer, denn die Aenderungen in der Lage der Normale sind hier unter sonst gleichen Umständen weit geringer. Aus diesen Gründen sucht man bei Anwendung dieses Eingriffs die Führung vor der Mittelpunctslinie möglichst zu vermeiden, und das Mittel dazu besteht in möglichster Vermehrung der Anzahl der Zähne der beiden Räder. Die Führung vor der Mittelpunctslinie kann nur dann gänzlich vermieden werden, wenn das kleinere, geführte Rad, das Getriebe, wenigstens zehn Zähne bekommt. Um dieses anschaulich zu machen, habe ich die Figur 3 entworfen, in welcher die Zähne, gleichwie in den folgenden Figuren, nach der Theorie gezeichnet sind. Die Figur 3 stellt ein Rad von 64 Zähnen vor, welches ein Getriebe von 8 Zähnen zu führen hat, der Berührungspunct *a* liegt auf der Mittelpunctslinie und *b* ist der gleichzeitige Berührungspunct des vorangehenden Zähnepaares; die Führung vor der Mittelpunctslinie ist hier vermieden. Nun zeigt diese Figur aber, dass, vorausgesetzt dass die Führung in beiden Richtungen möglich gemacht werden muss, die Zähne des Getriebes so dünn gemacht werden müssen, dass sie keine Haltbarkeit besitzen, die Führung vor der Mittelpunctslinie kann also bei einem Getriebe von 8 Zähnen, und weniger noch bei einem Getriebe von einer kleineren Anzahl von Zähnen, nicht vermieden werden.

Die Figur 4 zeigt dasselbe Räderpaar unter der Bedingung, dass die eine Hälfte der Führung vor, und die andere nach der Mittelpunctslinie stattfindet. Die gleichzeitigen Berührungspuncte in dieser Stellung sind wieder *a* und *b*. Hier haben sowohl die Zähne des Rades wie die des Getriebes eine annehmbare Haltbarkeit be-

kommen, aber im Laufe der Zeit können die oben erwähnten Uebelstände eintreten.

Die Figur 5 zeigt ein Rad von 80 und ein Getriebe von 10 Zähnen, und es findet also dasselbe Verhältniss des Rades zum Getriebe statt, wie in den beiden vorhergehenden Figuren. Die Puncte $a$ und $b$ sind wieder die gleichzeitigen Berührungspuncte, und $a$ liegt auf der Mittelpunctslinie. Man sieht aus dieser Figur, dass die Zähne des Getriebes immer noch etwas schwach ausfallen, und wohl nicht schwächer sein dürften, um Haltbarkeit zu erhalten. Man kann schon hieraus schliessen, dass bei einem Getriebe von 9 Zähnen sich die Führung vor der Mittelpunctslinie nicht ganz wird vermeiden lassen.

Ich bemerke hiezu noch, dass da in diesen drei Figuren die Theilkreise sowohl des Rades wie des Getriebes dieselben sind, nämlich der Halbmesser jenes 248, und der dieses 31 Millimeter beträgt, die Epicycloiden. die die Zahncurven bilden, auch dieselben sind.

---

Betrachten wir jetzt den extremen Fall, in welchem statt des Rades $F$ Figur 2 eine gezahnte Stange in das Rad $G$ eingreift, und in grader Linie fortbewegt wird. Es ist klar, dass der Theilkreis des Rades $F$ in die Grade $yA$ und deren Verlängerung übergeht, wenn man $\gamma = \infty$ macht, diese Linie und deren Bewegung in sich selbst soll jetzt betrachtet werden. In der Voraussetzung $\gamma = \infty$ werden die im Vorhergehenden vorkommenden Abscissen auch unendlich, und verlieren ihre Anwendbarkeit. Sei daher jetzt

$$\varrho \cos \varphi - \gamma = u$$
$$\varrho \sin \varphi = w$$

dann sind jedenfalls $u$ die Abscissen der Zahncurve $fhi$, die ihren Anfangspunct im Durchschnittspunct der Verlängerung der Graden $Ff$ mit dem Theilkreise $ABCA$ haben, und $w$ sind die rechtwinklichen dazu gehörenden Ordinaten. Führt man nun $u$ und $w$ in die Gleichungen (7) ein und eliminirt $\alpha$ durch die Gleichung $\alpha = \frac{c}{\gamma} a$, indem hier $\beta = 0$ gesetzt werden darf, so bekommt man

$$u = -\gamma + (\gamma + \tfrac{1}{2}c) \cos \frac{c}{\gamma} a - \tfrac{1}{2} c \cos \left(2 + \frac{c}{\gamma}\right) a$$

$$w = \qquad (\gamma + \tfrac{1}{2}c) \sin \frac{c}{\gamma} a - \tfrac{1}{2} c \sin \left(2 + \frac{c}{\gamma}\right) a$$



die in jedem Falle gelten. Setzt man nun $\gamma = \infty$, so werden offenbar

$$\frac{c}{\gamma} = 0, \quad \gamma \sin \frac{c}{\gamma} a = ca, \quad \gamma \cos \frac{c}{\gamma} a = \gamma$$

und die vorstehenden Gleichungen gehen über in

$$u = \tfrac{1}{2} c \,(1 \quad - \cos 2\,a)$$
$$w = \tfrac{1}{2} c \,(2a - \sin 2\,a)$$

die nun die Gleichungen der Zahncurven $fhi$ sind. Diese Gleichungen gehören einer Cycloide an, die auf der Graden $yA$ und deren Verlängerung von einem Kreise beschrieben wird, deren Halbmesser $\frac{1}{2}c$ ist, und die im Verlauf der Bewegung die radiale Grade, oder die oben beschriebene Hypocycloide des Rades $G$ berührt.

Betrachten wir nun den Eingriff auf der anderen Seite der Mittelpunctslinie $FG$, wo wenn $\gamma$ endlich ist, in Folge des Vorhergehenden die Hypocycloide des Rades $F$ mit der Epicycloide des Rades $G$ in Berührung kommt. Die Gleichungen der letzteren bekommt man, wenn man in den Gleichungen (7) die lateinischen Buchstaben in die entsprechenden griechischen, und umgekehrt, verwandelt. Diese Gleichungen sind also, wenn man $-v$ statt $v$ schreibt,

$$r \cos v = (c + \tfrac{1}{2}\gamma) \cos a - \tfrac{1}{2}\gamma \cos \frac{2c + \gamma}{\gamma} a$$

$$r \sin v = (c + \tfrac{1}{2}\gamma) \sin a - \tfrac{1}{2}\gamma \sin \frac{2c + \gamma}{\gamma} a$$

die in die folgenden umgewandelt werden können

$$r \cos v = c \cos a + \gamma \sin \frac{c}{\gamma} a \,.\, \sin \left(1 + \frac{c}{\gamma}\right) a$$

$$r \sin v = c \sin a - \gamma \sin \frac{c}{\gamma} a \,.\, \cos \left(1 + \frac{c}{\gamma}\right) a.$$

Setzt man hierin $\gamma = \infty$, so ergibt sich durch die Gleichungen

$$\frac{c}{\gamma} = 0, \quad \gamma \sin \frac{c}{\gamma} a = ca$$

sogleich

$$r \cos v = c \cos a + ca \sin a$$
$$r \sin v = c \sin a - ca \cos a,$$

welche die Gleichungen der Evolvente eines Kreises sind, dessen Halbmesser $c$, und dessen abgewickelter Bogen $ac$ ist. Die oben erhaltene Hypocycloide des Rades $F$ geht jetzt in eine senkrechte Grade auf der linken Seite der Graden $yA$ über, in deren Durchschnittspunct mit $yA$ die eben gefundene Cycloide anfängt.

Dass die eben gefundenen Gleichungen in der That die der genannten Kreisevolvente sind, lässt sich wie folgt zeigen.

In der Figur 6 soll $EF$ der vom Kreise $ABCA$ abgewickelte Bogen $AE$ sein, woraus folgt, dass der Punct $F$ der Evolvente dieses Kreises angehört, und $A$ der Anfangspunct dieser Kreisevolvente ist. Nennt man nun den Halbmesser dieses Kreises $c$, und den abgewickelten Bogen $ca$, so ist nicht nur

$$EF = ca$$

sondern auch der Winkel

$$ADE = a.$$

Sei ferner der Winkel $ADF = v$, und der Radius $FD = r$, dann gibt das Dreieck $FDE$ sogleich

$$r \cos(a - v) = c$$
$$r \sin(a - v) = ca$$

woraus

$$r \cos v = c \cos a + ca \sin a$$
$$r \sin v = c \sin a - ca \cos a$$

folgt, wie oben. Dass bei der Verwandelung des Kreises $F$ in eine Grade die Zahncurve von $F$ in eine Cycloide und die von $G$ in eine Kreisevolvente übergehen muss, lässt sich leicht a priori einsehen. Denn setzt man den Halbmesser des Grundkreises irgend einer Epicycloide unendlich gross, so muss letztere in eine Cycloide übergehen, und setzt man den Halbmesser des Rollkreises irgend einer Epicycloide unendlich gross, so muss die letztere in eine Kreisevolvente übergehen.

---

## Zweiter Fall.

Es soll jetzt die Bedingung eingeführt werden, dass die Zahncurve $ghk$ des Rades $G$ Figur 2 ein Kreis sei, dessen Mittelpunct auf dem Theilkreise $AEDA$ liegt.

Sei der Halbmesser dieses Kreises $R$, und der Winkel am Mittelpunct desselben, den irgend ein Halbmesser desselben mit der auf dem Rade festen Linie $gG$ macht $p$, so findet man leicht, wenn man bedenkt, dass der Winkel $v$ hier die entgegengesetzte Lage bekommt wie in der Figur,

$$r \cos v = c - R \cos p$$
$$r \sin v = \quad - R \sin p$$

für die Gleichung dieses Kreises. Hieraus ergibt sich

$$dr = R dp \sin(p - v)$$

$$r\,dv = -R\,dp\cos(p-v)$$
$$r\,dr = \phantom{-}cR\,dp\sin p$$

und substituirt man diese in die Bedingungsgleichung (5), so erhält man

$$\sin p = \sin(p+a)$$

woraus

$$p = 90^0 - \tfrac{1}{2}a$$

folgt. Die Gleichungen des gegebenen Kreises werden hiemit

$$r\cos v = c - R\sin\tfrac{1}{2}a$$
$$r\sin v = \phantom{c} - R\cos\tfrac{1}{2}a$$

die man leicht in die folgenden verwandelt,

$$r\cos(a+\alpha+v) = c\cos(a+\alpha) + R\sin(\tfrac{1}{2}a+\alpha)$$
$$r\sin(a+\alpha+v) = c\sin(a+\alpha) - R\cos(\tfrac{1}{2}a+\alpha).$$

Setzt man diese in die Gleichungen (3), und eliminirt $\alpha$ durch die (1), so wird

$$\varrho\cos\varphi = (\gamma+c)\cos\alpha - c\cos\left(\frac{\gamma+c}{c}\alpha - \frac{\gamma}{c}\beta\right) - R\sin\left(\frac{\gamma+2c}{2c}\alpha - \frac{\gamma}{2c}\beta\right)$$

$$\varrho\sin\varphi = (\gamma+c)\sin\alpha - c\sin\left(\frac{\gamma+c}{c}\alpha - \frac{\gamma}{c}\beta\right) + R\cos\left(\frac{\gamma+2c}{2c}\alpha - \frac{\gamma}{2c}\beta\right)$$

oder da hier $\beta = 0$ gesetzt werden darf,

$$\varrho\cos\varphi = (\gamma+c)\cos\alpha - c\cos\frac{\gamma+c}{c}\alpha - R\sin\frac{\gamma+2c}{2c}\alpha$$

$$\varrho\sin\varphi = (\gamma+c)\sin\alpha - c\sin\frac{\gamma+c}{c}\alpha + R\cos\frac{\gamma+2c}{2c}\alpha.$$

Diese sind jetzt die Gleichungen der Zahncurve $fhi$, und diese gehört also wieder der Gattung der Epicyceln an. Wenn der Halbmesser $R$ so klein ist, dass man ihn in Bezug auf $c$ und $\gamma$ als verschwindend betrachten kann, so gehen sie in die folgenden über

$$(8)\quad \ldots \quad \begin{cases} \varrho\cos\varphi = (\gamma+c)\cos\alpha - c\cos\dfrac{\gamma+c}{c}\alpha \\ \varrho\sin\varphi = (\gamma+c)\sin\alpha - c\sin\dfrac{\gamma+c}{c}\alpha \end{cases}$$

die einer Epicycloide angehören, deren Grundkreis wie im ersten Falle $\gamma$, aber deren Rollkreis $c$ statt $\frac{1}{2}c$ zum Halbmesser hat. Die Grundkreise der Räderzähne fallen hier wieder mit den Theilkreisen zusammen.

Diese Art des Eingriffs ist bis auf die neuere Zeit in Thurmuhren und Mühlwerken, in Verbindung mit den sogenannten Laternengetrieben angewandt worden, nämlich mit Getrieben, die aus zwei kreisrunden Scheiben bestehen, zwischen welchen den Umkreisen so nahe wie

möglich eine Anzahl cylindrischer Stäbe in einem Kreise befestigt sind. Da der Halbmesser dieser Stäbe immer im Vergleich zum Halbmesser des Getriebes, und also mehr noch im Vergleich zum Halbmesser des Rades sehr klein ist, und daher ihre Berührung mit den Radzähnen fast immer an demselben Punct des Stabes stattfindet, so setzt man in der Anwendung diesen Halbmesser, der in der vorstehenden Ableitung durch $R$ repräsentirt worden ist, gleich Null. Dieser Eingriff übt gleichwie der vorher betrachtete auf die Zapfenlager einen Seitendruck aus, und eine dadurch bewirkte Vergrösserung der Entfernung $FG$ macht ihn auch unrichtig. Der Seitendruck ist hier indess immer kleiner wie im ersten Falle, da die Abweichung der Normale $HJ$ von einer Senkrechten auf $FG$ hier immer kleiner ist, wie dort. Eine Führung vor der Mittelpunctslinie kann hier gar nicht stattfinden, indem auf der anderen Seite derselben keine Berührungen stattfinden können. Die Figur 7, welche diesen Eingriff darstellt gibt dieses ohne Weiteres zu erkennen.

---

Betrachten wir wieder den Fall wo das Rad $F$ in eine gezahnte Stange übergeht. Führen wir $a$ statt $\alpha$ ein, indem wieder $\beta = 0$ gesetzt wird, so gehen die Gleichungen (8) zuerst auf ähnliche Art wie oben in die folgenden über,

$$u = -\gamma + (\gamma + c)\cos\frac{c}{\gamma}a - c\cos\frac{\gamma + c}{c}a$$

$$w = (\gamma + c)\sin\frac{c}{\gamma}a - c\sin\frac{\gamma + c}{c}a$$

und setzt man hierauf $\gamma = \infty$, so ergeben sich für die Zahncurve der Stange die folgenden,

$$u = c(1 - \cos a)$$
$$w = c(a - \sin a)$$

die einer Cycloide angehören, die auf der Linie $yA$ von einem Kreise gebildet wird, dessen Halbmesser $c$ ist.

Man kann diesen Eingriff mit dem vorhergehenden verbinden, indem man den Triebstecken nicht die kreiscylindrische, sondern die durch die Gleichungen (8) ausgedrückte epicycloidische Form gibt, und die sich in jenem Falle daran schliessende Hypocycloide oder radiale Grade weglässt. Wollte man hiebei vom Laternengetriebe abgehen und statt dessen ein mit entsprechenden Zähnen versehenes Getriebe anwenden, so müsste man statt der radialen Linien, oder der Ebenen,

concave beliebige Flächen anbringen um unregelmässige und nachtheilige Berührungen der Zähne mit einander zu vermeiden. Es tritt aber hier, wenigstens bei einem Getriebe von 8 oder weniger Zähnen, der Uebelstand ein, dass die Concavität der Zähne so gross gemacht werden muss, dass sie ihre Haltbarkeit verlieren. Um dieses anschaulich zu machen, ist die Figur 8 entworfen worden, die einen solchen Eingriff für ein Rad mit 64 und ein Getriebe mit 8 Zähnen darstellt.

---

### Dritter Fall.

Die Bedingung, deren Folgerungen jetzt entwickelt werden sollen, soll die sein, dass während des ganzen Eingriffes der Zähne in einander der Winkel, den die Normale $HJ$ mit der Graden $FG$ der Figur 2 macht, unveränderlich sei.

Sei der Winkel, den die gemeinschaftliche Tangente beider Zahncurven am Berührungspunct $h$ mit der Abscissenachse $FG$ macht $-k$, und $k$ unveränderlich, dann ist die vorgesetzte Bedingung erfüllt. Hiemit wird aber zufolge der Gleichung (4)

$$\operatorname{tg} k = \frac{dr \sin(a+v) + r dv \cos(a+v)}{dr \cos(a+v) - r dv \sin(a+v)}$$

oder nach einer leichten Reduction, und wenn man

$$k - a = s$$

macht,

$$(9) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad dr \sin(s-v) - r dv \cos(s-v) = 0.$$

Führt man auch in die Bedingungsgleichung (5) den Winkel $k$ ein, so wird diese in Folge der vorstehenden zuerst

$$r dr = c' \left[ dr \cos(s-v) + r dv \sin(s-v) \right]$$

wo

$$c' = c \cos k$$

ist. Zieht man aber aus (9) den Werth von $rdv$, und substituirt ihn in die vorstehende, so verschwindet $dr$, und man erhält

$$(10) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c' = r \cos(s-v).$$

Die Gleichungen (9) und (10) ergeben nun nach der Integration der ersteren die gesuchte Curve. Addirt man die Function $c'ds$ zu beiden Seiten der Gleichung (9), so wird diese in Folge der (10),

$$dr \sin(s-v) + r(ds - dv) \cos(s-v) = c' ds$$

und ist ein vollständiges Differential, dessen Integral

$$r \sin(s-v) = c's + l$$

ist, wo $l$ die willkührliche Constante bezeichnet. Um diese zu bestimmen wollen wir den Fall betrachten, wo der Berührungspunct $h$ in dem Punct $J$ der Figur 2 liegt. Da $GJ = c'$ ist, so ist hier $c' = r$ und da hier $v = 0$ gesetzt werden kann, so wird $s = 0$ und $l = 0$. Die Gleichungen unserer Curve sind also

$$r \sin(s - v) = c's$$
$$r \cos(s - v) = c'$$

oder nach einer leichten Umformung

$$\left.\begin{aligned} r \cos v &= c' \cos s + c's \sin s \\ r \sin v &= c' \sin s - c's \cos s \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (11)$$

und gehören, zufolge des Vorhergehenden einer Kreisevolvente an, die von einem Kreise des Halbmessers $c'$ gebildet wird, und wo der abgewickelte Bogen $c's$ ist. Die Zahncurve $ghk$ ist jetzt diese Kreisevolvente. Man kann schon hieraus schliessen, dass die Zahncurve $fhi$ des Rades $F$ eine analoge Form erhalten wird, es soll dieses aber hier durch die Grundgleichungen entwickelt werden. Da $s = k - \alpha$ ist, so geben die (11) durch eine leichte Umformung

$$r \cos(a + \alpha + v) = c' \cos(k + a) + c'(k - a) \sin(k + \alpha)$$
$$r \sin(a + \alpha + v) = c' \sin(k + a) - c'(k - a) \cos(k - \alpha)$$

woraus durch die Substitution in die (3) die folgenden hervorgehen,

$$\varrho \cos\varphi = (\gamma + c) \cos\alpha - c' \cos(k + \alpha) - c'(k - a) \sin(k + \alpha)$$
$$\varrho \sin\varphi = (\gamma + c) \sin\alpha - c' \sin(k + \alpha) + c'(k - a) \cos(k + \alpha).$$

Da identisch

$$\cos\alpha = \cos k \cos(k + \alpha) + \sin k \sin(k + \alpha)$$
$$\sin\alpha = \cos k \sin(k + \alpha) - \sin k \cos(k + \alpha)$$

ist, so gehen diese Gleichungen zuerst in die folgenden über

$$\varrho \cos\varphi = \gamma' \cos(k + \alpha) + [(\gamma + c) \sin k - c'(k - a)] \sin(k + \alpha)$$
$$\varrho \sin\varphi = \gamma' \sin(k + \alpha) - [(\gamma + c) \sin k - c'(k - \alpha)] \cos(k + \alpha)$$

wo

$$\gamma' = \gamma \cos k$$

ist. Setzt man nun

$$k + \alpha = \sigma$$
$$(\gamma + c) \sin k - c'(k - a) = \gamma'(k + \alpha)$$

so ergibt sich aus der letzten Gleichung, wenn ($a$) durch die (1) eliminirt wird

$$\beta = \frac{\gamma + c}{\gamma}(\operatorname{tg} k - k) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

welche Gleichung statthaft ist, da $\beta$ dadurch einen unveränderlichen Werth bekommt. Die obigen Gleichungen werden aber nun

$$(13) \ldots\ldots \begin{cases} \varrho \cos\varphi = \gamma' \cos\sigma + \gamma'\sigma \sin\sigma \\ \varrho \sin\varphi = \gamma' \sin\sigma - \gamma'\sigma \cos\sigma \end{cases}$$

oder mit Worten, die Zahncurve $fhi$ des Rades $F$ wird auch eine Kreisevolvente, aber auf einem Kreise dessen Halbmesser $\gamma'$, und dessen abgewickelter Bogen $\gamma'\sigma$ ist. Aus dem Vorstehenden folgt ferner, dass

$$\frac{\gamma'}{c'} = \frac{\gamma}{c}$$

oder die Halbmesser der Grundkreise der Zähnecurven, die jetzt von den Theilkreisen verschieden sind, verhalten sich zu einander wie die Halbmesser der Theilkreise, sie fallen nur mit diesen zusammen, wenn $k = 0$ ist, welcher Fall aber, wie weiter unten gezeigt werden wird, in der Anwendung ausgeschlossen werden muss.

Bei diesem Eingriff ist zu bemerken, dass es auf jeder Seite der Mittelpunctslinie $FG$ einen Punct gibt, wo er aufhört anwendbar zu sein, während er theoretisch betrachtet in grösserer Ausdehnung richtig ist. Nehmen wir die Bewegung der beiden Räder in dem Sinne an, dass $a$ und $\alpha$ wachsen, so wird zwar wegen $\sigma = k + \alpha$ der Bogen $\sigma$ stets fortfahren zu wachsen, allein wegen $s = k - a$ wird $s$ abnehmen, und für $a = k$ wird $s = 0$. Die Berührung der Zähne wird nun am Anfangspunct der Kreisevolvente des Rades $G$, das ist am Umfange des Grundkreises $c'$ stattfinden, und es ergibt sich leicht, dass dieser Punct mit dem Puncte $J$ der Figur 2 identisch ist. Lässt man nun $\alpha$ noch mehr wachsen, so wird $s$ negativ, und die neuen Berührungspuncte der Zähne finden auf der concaven Seite eines neuen Zweiges der Kreisevolvente statt, die denselben Anfangspunct, aber eine entgegengesetzte Lage hat, wie jene. Theoretisch bleibt also auch der Eingriff richtig, wenn $a > k$ wird, aber er wird praktisch unmöglich, weil die zweite Kreisevolvente zugleich mit der ersten nicht ausgeführt werden kann.

Nehmen wir nun die Bewegungen der Räder in entgegengesetzter Richtung an, so werden, wenn der Berührungspunct der Zähne auf der entgegengesetzten Seite der Graden $FG$ zu liegen kommt, $a$ und $\alpha$ negativ, schreibt man um diese wieder positiv annehmen zu können, $-a$ statt $a$ und $-\alpha$ statt $\alpha$ in die Gleichungen, so erhält man $s = k + a$, $s = k - \alpha$, und wenn die Berührung der Zähne bis zum Punct $H$ der Figur gelangt ist, so wird $\sigma = 0$. Von da an weiter treten nun in Bezug auf das Rad $F$ dieselben Umstände ein, die oben für das Rad $G$ erklärt wurden. Die in Rede stehende Gattung von Eingriff kann also,

wenn von jedem Rade nur Ein Zahn betrachtet wird, blos so lange in der Anwendung richtig sein, als der Berührungspunct dieser beiden Zähne zwischen den Puncten $H$ und $J$, diese eingeschlossen, stattfindet. Um einen fortwährend richtigen Eingriff zu erhalten, muss man die Anzahl der Zähne so gross machen, dass ehe die Berührung Eines Paares von Zähnen die eben bestimmten Grenzen erreicht, wenigstens Ein zweites Paar in Wirksamkeit tritt.

Die Winkelbewegung, die jedes Rad während der praktisch richtigen Wirkung Eines Zähnepaares beschreibt, lässt sich auf folgende Weise finden. Substituirt man den Ausdruck (12) für $\beta$ in die Gleichung (1), so wird

$$a = \frac{\gamma}{c}\,\alpha - \frac{\gamma + c}{c}\,(\operatorname{tg} k - k).$$

Setzt man nun $a = k$, so ergibt sich

$$\alpha = \frac{\gamma + c}{\gamma}\operatorname{tg} k - k$$

und setzt man $\alpha = -k$, so erhält man

$$a = -\frac{\gamma + c}{c}\operatorname{tg} k + k$$

aus diesen Gleichungen folgt, dass während der praktisch richtigen Wirksamkeit Eines Zähnepaares das Rad $G$

$$\text{den Winkel}\,\frac{\gamma + c}{c}\operatorname{tg} k$$

und das Rad $F$

$$\text{den Winkel}\,\frac{\gamma + c}{\gamma}\operatorname{tg} k$$

beschreibt. Wenn $\gamma$ und $c$ verschieden sind, so werden diese Winkel von den Graden $FG$ in zwei ungleiche Theile getheilt, auf der einen Seite derselben, und zwar für jedes Rad auf verschiedenen Seiten, liegt der Winkel $k$, und auf der anderen der Unterschied zwischen $k$ und den vorstehenden Ausdrücken der ganzen Winkel. Man erkennt aus den vorstehenden Ausdrücken, dass der Winkel des praktisch richtigen Eingriffs mit $k$ zu- und abnimmt, und dass, wenn $k = 0$ wird, der Eingriff nur in einem Punct, und zwar im Punct $A$ der Figur richtig ist. In diesem Falle würden die Radien der Grundkreise, $c'$ und $\gamma'$, denen der Theilkreise, $c$ und $\gamma$, gleich werden, und jene Kreise würden sich wie diese berühren. Es folgt hieraus, dass man bei der Anwendung dieses Eingriffs den Rädern nie eine solche Stellung geben darf, dass die Grundkreise einander berühren. Sonst ist die Ent-

fernung $FG$ eines grossen Spielraums fähig, ohne dass der Eingriff unrichtig wird, denn die Figur der Zähne ist von dieser Entfernung unabhängig. Ein mit der Zeit vorkommendes Auslaufen der Zapfenlöcher macht diesen Eingriff also nicht unrichtig, und hierin liegt ein grosser Vorzug vor den vorher betrachteten Eingriffen, bei welchen eine kleine Veränderung in der Entfernung $FG$ den Eingriff schon merklich unrichtig macht. Ein anderer Vorzug liegt darin, dass man in Ein gegebenes Rad so viele andere von verschiedenen Halbmessern, wie man will, eingreifen lassen kann und immer richtige Eingriffe erhält. Dieses hat seinen Grund darin, dass die Radzähne von den Dimensionen des anderen Rades unabhängig sind, welches in den beiden vorher betrachteten Fällen nicht stattfindet, vielmehr dort jede Zahncurve vom Halbmesser beider Räder abhängig ist, und also ein gegebenes Rad nur mit einem Einzigen anderen Rade einen richtigen Eingriff bilden kann. Endlich ist noch als Vorzug des jetzt in Rede stehenden Eingriffs, den man den Evolventeneingriff zu nennen pflegt, hervorzuheben, dass, wenigstens im Grossen, die Kreisevolvente mit grosser Leichtigkeit genau construirt werden kann.

Da, wie oben gezeigt worden ist, der Winkel des praktisch richtigen Eingriffs mit dem Winkel $k$ wächst, so könnte es scheinen, dass es am Vortheilhaftesten wäre, $k$ so gross zu machen wie überhaupt möglich ist, allein dem ist nicht so, es gibt vielmehr eine Grenze über welche hinaus man $k$ nicht annehmen darf. Der Evolventeneingriff hat mit den Epicycloideneingriffen die Eigenschaft gemein, dass er auf die Zapfenlöcher einen Seitendruck verursacht, und je grösser man $k$ macht, desto grösser wird dieser Seitendruck. Bei fortwährender Vergrösserung von $k$ muss man daher auf einen so grossen Seitendruck kommen, dass die Reibung der Zähne auf einander und die Reibung der Zapfen in den Zapfenlöchern eine schädliche Grösse erreicht, und man darf daher $k$ nicht so gross machen, dass dieser Umstand eintritt. Soviel mir bekannt ist, macht man gewöhnlich $k = 15^0$. Der Evolventeneingriff wird in der neueren Zeit beim Maschinenbau — folglich auch beim Mühlenbau — angewandt.

Um die Figur der Zähne beim Evolventeneingriff anschaulich zu machen, dienen die Figuren 9 und 10, und zwar sind hier wieder die kritischen Fälle gezeichnet, in welchen das eine Rad eine geringe Anzahl von Zähnen hat. In der Figur 9 hat das grosse Rad 80 und das kleine, oder das Getriebe 10 Zähne, in der Figur 10 sind die

Zähnezahlen 64 und 8. In beiden Figuren sind dieselben Bezeichnungen angewandt, und der Winkel $k = 15^0$ angenommen. *de* ist die Mittelpunctslinie, *ac* die gemeinschaftliche Normale an den Berührungspuncten, die in den Figuren *a* und *b* sind. Diese sind so gezeichnet, dass *a* an der Grenze der praktischen Richtigkeit des Eingriffs liegt. Der Grundkreis des kleinen Rades geht daher durch die Puncte *a* und *h*, der des grossen Rades durch *f* und *g*. Die Concavitäten *hi* und *ak* der Zähne des kleinen Rades sind angebracht um unregelmässige und schädliche Berührungen zu vermeiden, wenn die Zähne sich in einer Stellung befinden, die die Grenze der praktischen Richtigkeit des Eingriffs überschreitet. Bei dem Getriebe von 10 Zähnen haben die Zähne des grossen Rades bis an den Grundkreis fortgeführt werden müssen, bei dem von 8 Zähnen sogar etwas in den Grundkreis hinein, welches unnöthig wird, wenn das kleine Rad mehr Zähne hat, wie hier angenommen worden ist. In den meisten Fällen die vorkommen hat jedes der beiden Räder weit mehr wie 10 Zähne, und dann brauchen diese nicht bis auf den Grundkreis fortgeführt zu werden, die Berührungen der Zähne erstrecken sich dann lange nicht bis zu dem Punct, wo die praktische Brauchbarkeit des Eingriffs aufhört. Man unterscheidet dann oft einen dritten Kreis, den man den Fusskreis zu nennen pflegt, es ist dies der Kreis der die Grundflächen in den Oeffnungen zwischen den Zähnen bildet. Ich habe nicht für nothwendig gehalten für diese Fälle eine besondere Figur zu zeichnen und erwähne blos, dass die Zähne beider Räder eine solche Form annehmen, wie bei den grossen Rädern der Figuren. Bei Getrieben von nicht mehr Zähnen, wie in den beiden Figuren, kann die Führung vor der Mittelpunctslinie nicht vermieden werden, wenn das grosse Rad das kleine führen soll, allein diese Führung hat hier lange nicht den nachtheiligen Einfluss wie beim Epicycloideneingriff, indem hier bei einer mit der Zeit entstehenden Vergrösserung des Abstandes der Mittelpuncte der Räder von einander der Eingriff richtig bleibt. Wenn das grosse Rad vom kleinen geführt wird, so fällt der grösste Theil der Führung in unseren Beispielen nach dem Durchgange durch die Mittelpunctslinie.

---

Die oben erhaltenen Gleichungen der Kreisevolvente, welche die rechtwinklichen Coordinaten derselben ausdrücken, sind zwar sehr einfach, allein man kann die Polarcoordinaten derselben auch sehr ein-

fach ausdrücken, und kommt unmittelbar auf die Ausdrücke derselben, wenn man die Gleichung (9) auf andere Art integrirt, wie oben geschehen ist. Ich werde diese Integration hier einschalten. Die Gleichung (10) gibt

$$\cos(s - v) = \frac{c'}{r}, \quad \sin(s - v) = \frac{\sqrt{r^2 - c'^2}}{r}$$

eliminirt man hiemit $s - v$ aus (9), so bekommt man

$$c' dv = \frac{\sqrt{r^2 - c'^2}}{r}\, dr.$$

Sei um diesen Ausdruck rational zu machen

$$z^2 = r^2 - c'^2$$

so gibt die Substitution

$$c' dv = \frac{z^2 dz}{z^2 + c'^2} = dz - \frac{c'^2 dz}{z^2 + c'^2}$$

wovon das Integral

$$c' dv + l = z - c' \operatorname{arc\,tg} \frac{z}{c'}$$

ist, wenn $l$ die willkührliche Constante bedeutet. Führt man wieder $r$ statt $z$ ein und wählt wieder den Anfangspunct von $v$ so, dass $v = 0$ wird, wenn $r = c'$ ist, so geht dieses Integral über in

$$c' v = \sqrt{r^2 - c'^2} - c' \operatorname{arc\,tg} \frac{\sqrt{r^2 - c'^2}}{c'}$$

oder

$$\sqrt{r^2 - c'^2} = c' \operatorname{tg}\left(\frac{\sqrt{r^2 - c'^2}}{c'} - v\right).$$

Setzt man nun

$$\frac{c'}{r} = \cos p$$

so wird

$$\frac{\sqrt{r'^2 - c^2}}{c'} = \operatorname{tg} p$$

und die vorstehende Gleichung geht über in

$$p = \operatorname{tg} p - v.$$

Da ausserdem $r = c' \sec p$ wird, so wird unser Integral

$$r = c' \sec p$$
$$v = \operatorname{tg} p - p$$

und diese sind auch die Gleichungen der Evolvente des Kreises, welcher $c'$ zum Halbmesser hat. Um dieses zu zeigen, sei $\operatorname{tg} p = s$, dann geben die vorstehenden Gleichungen zuerst

$$r = c' \sqrt{1 + s^2}$$
$$\operatorname{tg}(s - v) = s$$

woraus zuerst

$$\sin(s - v) = \frac{s}{\sqrt{1 + s^2}}, \quad \cos(s - v) = \frac{1}{\sqrt{1 + s^2}}$$

und dann

$$r \sin(s - v) = c's$$
$$r \cos(s - v) = c'$$

deren Identität mit den (11) schon oben gezeigt wurde. Ich bemerke noch, dass diesem zufolge auch die oben erhaltene Gleichung

$$v = \frac{\sqrt{r^2 - c'^2}}{c'} - \operatorname{arc}\operatorname{tg} \frac{\sqrt{r^2 - c'^2}}{c'}$$

die Gleichung der Kreisevolvente ist, die die Relation zwischen den Polarcoordinaten $v$ und $r$ unmittelbar, und ohne Anwendung einer dritten Veränderlichen gibt. Kehren wir nach dieser Digression über die Gleichung der Kreisevolvente zu unserm Thema zurück.

---

Suchen wir jetzt die Figur der Zähne einer gezahnten Stange, die unter der Bedingung, dass $k$ unveränderlich sei, in ein Rad $G$ eingreifen soll. Man kann die Figur dieser Zähne in diesem Falle nicht dadurch finden, dass man, wie in den vorhergehenden Fällen, $\gamma$ oder $\gamma'$ unendlich gross macht, weil der Begriff der Evolvente nicht auf eine Grade als Grundcurve angewandt werden kann, indem hier eine Abwickelung unmöglich ist. Man muss daher hier wieder von den Grundsätzen der allgemeinen Aufgabe ausgehen. Sei daher in der Figur 2 $yA$ eine auf der gezahnten Stange, die in das Rad $G$ eingreifen soll, parallel mit den Kanten derselben gezogene Grade, und die Richtung der Bewegung die dieser Graden. Da nun die Zahncurve immer auf der Graden $JH$ senkrecht stehen muss, und $JH$ in unserem Falle gegen $yA$ eine unveränderliche Lage hat, und mit ihr den Winkel $90^0 - k$ macht, so folgt sogleich, dass die Zahncurve der Stange auch eine Grade sein muss, die mit ihr den Winkel $k$ macht und der Graden $JG$ parallel ist. Die Figur 11 zeigt die Zähne der gezahnten Stange in der Voraussetzung dass $k = 15^0$.

Der Winkel des praktisch richtigen Eingriffs hat hier, wenn wir uns eine bestimmte Richtung der Bewegung denken z. B. von $y$ nach $A$ nur auf der einen Seite der Graden $FG$ eine bestimmte Grenze, nämlich den Punct $J$, oder den Punct, wo die Kreisevolvente die die

Zahncurve des Rades $G$ bildet, ihren Anfang hat. Auf der anderen Seite der Graden $FG$ ist mit bloser Anwendung desselben Zweiges der Kreisevolvente der Eingriff eines Paares von Zähnen unbegränzt richtig, und praktisch kann man ihn wenigstens Einen ganzen Umkreis des Rades hindurch richtig ausführen. Diese Eigenschaft macht es jetzt möglich den Fall $k = 0$, der bei dem Eingriff zweier Räder in einander ausgeschlossen werden müsste, mit Nutzen anwenden zu können. Ich nehme an, dass die Stange von dem Rade in der einen Richtung eine bestimmte Strecke fortgeführt, dann von demselben verlassen und in der entgegengesetzten Richtung dieselbe Strecke von einer anderen Kraft, etwa durch ihr eigenes Gewicht, wodurch sie zur Stampfe wird, zurückgeführt werden soll. Gibt man ihr nun in Beziehung auf das Rad eine solche Lage, dass die durch den äussersten Punct ihrer Zähne gelegten, mit der Richtung ihrer Bewegung parallele Grade den Grundkreis $c'$ berührt, dann ist $k = 0$, und wenn man auf dem Rade nur Einen Zahn in der Kreisevolventenform anbringt, so kann man diesen durch den ganzen Umfang des Rades fortführen, und bewirkt dadurch, dass die Kraft, mit welcher die Stange vom Rade geführt wird, sich gleichförmig auf die Zeit eines Umlaufes desselben vertheilt, und bis auf den Augenblick, wo der Radzahn den Stangenzahn verlässt, gleichförmig bleibt. Gibt man dem Rade zwei Zähne, so kann jeder derselben bis auf den halben Umkreis fortgesetzt werden u. s. w., ohne dass die Gleichförmigkeit der Kraft unterbrochen wird. Der erste Angriff des Radzahns auf den Stangenzahn muss erfolgen, wenn die durch den Endpunct des Stangenzahns auf die Stange selbst gezogene Senkrechte durch den Mittelpunct des Rades geht, oder darf wenigstens nicht früher erfolgen. Dieser Eingriff übt gar keinen Seitendruck auf die Stange aus, oder wenigstens keinen grösseren wie den, der durch die Reibung der beiden Zähne auf einander bewirkt wird, und diese Reibung kann man dadurch beträchtlich vermindern, dass man die Stange in ihrem Berührungspunct mit dem Radzahn, welcher immer derselbe bleibt, mit einer Frictionsrolle versieht. Es ist unmöglich diese Wirkungen hervorzubringen, wenn der Stange gegen das Rad eine solche Lage gegeben wird, dass $k$ nicht gleich Null wird.

Die Figur 12 stellt einen solchen Eingriff unter der Annahme dar, dass man dem Rade nur Einen Zahn gibt. Die Fälle, in welchen dem letzteren mehrere Zähne gegeben werden, können leicht hiernach

construirt werden. $AB$ ist der Durchschnitt der Stange in der Ebene des Radzahns, $CD$ die Ansicht derselben senkrecht auf den Radzahn, oder parallel mit der Welle des Rades. Der Berührungspunct ist stets im Punct $a$ der Stange, und $ab$ ist eine in der Stange angebrachte Oeffnung, um dem Radzahn Platz zum Durchgehen zu gewähren. $C$ ist der Mittelpunct des Rades, $DE$ der Grundkreis der Kreisevolvente $FGH$, die während der Bewegung stets den Punct $a$ der Stange berührt. Die Frictionsrolle, deren Mittelpunct sich in $a$ befinden muss, ist in der Figur nicht gezeichnet worden.

---

## Vierter Fall.

Ich werde jetzt eine Gattung von Eingriff untersuchen, die die Eigenschaft besitzt, dass man bei einem Getriebe von 8 Zähnen, die Führung vor dem Durchgange durch die Mittelpunctslinie gänzlich vermeiden kann, ohne dass die Getriebzähne zu schwach werden.

Die Bedingung, die ich aufstelle, ist, dass die Zähne des Rades $F$ der Figur 2 einen, der Grösse und Lage nach weiter unten näher zu bestimmenden Kreisbogen bilden sollen, an welchen sich tangential eine nach dem Mittelpunct des Rades gerichtete Grade anschliesst. Die Figur 13 stellt einen solchen Zahn vor. $F$ ist der Mittelpunct des Rades, $FP$ eine Grade, die den Kreisbogen $PQS$, der seinen Mittelpunct in $U$ hat, im Puncte $P$ berührt. Sei der Halbmesser $QU$ dieses Kreises mit $R$ bezeichnet, die Grade $FU$ mit $\gamma + \zeta$, wo $\gamma$ wie früher der Halbmesser des Theilkreises des Rades ist. Sei ferner $FQ = \varrho$, der Winkel $PFQ = \varphi$, $PFU = f$, $QUS = p$. Es geht nun leicht aus der Figur hervor, dass

$$(14) \quad \ldots\ldots\ldots \quad R = (\gamma + \zeta) \sin f$$

$$(15) \quad \ldots\ldots \quad \begin{cases} \varrho \sin (f - \varphi) = R \sin p \\ \varrho \cos (f - \varphi) = R \cos p + \gamma + \zeta \end{cases}$$

ist, woraus

$$\varrho \cos (a + \alpha - \varphi) = (\gamma + \zeta) \cos (a + \alpha - f) + R \cos (a + \alpha + p - f)$$
$$\varrho \sin (a + \alpha - \varphi) = (\gamma + \zeta) \sin (a + \alpha - f) + R \sin (a + \alpha + p - f)$$

folgt. Substituirt man diese in die beiden ersten der Gleichungen (6), so bekommt man

$$(16) \begin{cases} r \cos v = \phantom{-}(c+\gamma) \cos a - (\gamma+\zeta) \cos (a+\alpha-f) - R \cos (a+\alpha+p-f) \\ r \sin v = -(c+\gamma) \sin a + (\gamma+\zeta) \sin (a+\alpha-f) + R \sin (a+\alpha+p-f) \end{cases}$$

Die Differentiation der Gleichungen (15) gibt

$$d\varrho = \quad dp R \sin (f - p - \varphi)$$
$$\varrho d\varphi = -dp R \cos (f - p - \varphi)$$
$$\varrho d\varrho = -dp R (\gamma + \zeta) \sin p$$

und substituirt man diese in die letzte (6), so wird

$$(\gamma + \zeta) \sin p = \gamma \sin (\alpha - f + p)$$

wofür man auch schreiben kann,

$$(17) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \begin{cases} \lambda \sin p = \quad \gamma \sin (\alpha - f) \\ \lambda \cos p = -\gamma \cos (\alpha - f) + \gamma + \zeta \end{cases}$$

indem durch die Elimination der Unbekannten $\lambda$ aus diesen beiden Gleichungen sich eine Gleichung ergibt, die leicht mit der vorhergehenden identisch gemacht werden kann. Die Gleichungen (14), (16), (17) bestimmen jetzt die Zahncurven des Rades $G$ der Figur 2, nachdem die willkührlichen Grössen, die sie enthalten, bestimmt worden sind. Die Bedingungen, die ich hiefür aufstellen werde, sollen die sein, dass für einen gewissen Werth von $a$, den ich mit $a_1$ bezeichnen will

$$r \cos v = c, \quad \text{und } r \sin v = 0$$

werde. Bezeichnet man den zu $a_1$ gehörigen Werth von $\alpha$ mit $\alpha_1$, so wird also gleichzeitig

$$c = (c + \gamma) \cos a_1 - (\gamma + \zeta) \cos (a_1 + \alpha_1 - f) - R \cos (a_1 + \alpha_1 + p - f)$$
$$0 = (c + \gamma) \sin a_1 - (\gamma + \zeta) \sin (a_1 + \alpha_1 - f) - R \sin (a_1 + \alpha_1 + p - f)$$

Die Gleichung (1) gibt aber, wenn man $a_1$ und $\alpha_1$ darin setzt, und zur Abkürzung

$$\alpha_1' = \frac{c}{\gamma} a_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

macht

$$\alpha_1 = \alpha_1' + \beta$$

und die vorstehenden Gleichungen werden dadurch

$$c = (c + \gamma) \cos a_1 - (\gamma + \zeta) \cos (a_1 + \alpha_1' + \beta - f) - R \cos (a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f)$$
$$0 = (c + \gamma) \sin a_1 - (\gamma + \zeta) \sin (a_1 + \alpha_1' + \beta - f) - R \sin (a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f)$$

Führt man dieselben Substitutionen in die Gleichungen (17) ein, so geben diese

$$\lambda \cos (a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f) = (\gamma + \zeta) \cos (a_1 + \alpha_1' + \beta - f) - \gamma \cos a_1$$
$$\lambda \sin (a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f) = (\gamma + \zeta) \sin (a_1 + \alpha_1' + \beta - f) - \gamma \sin a_1'$$

wodurch die vorstehenden Bedingungsgleichungen in

$$c = c \cos a_1 - (\lambda + R) \cos (a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f)$$
$$0 = c \sin a_1 - (\lambda + R) \sin (a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f)$$

übergehen. Aus diesen zieht man zuerst



$$0 = c(1-\cos a_1)\sin(a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f) + c\sin a_1 \cos(a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f)$$
$$- c(1-\cos a_1)\cos(a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f) + c\sin a_1 \sin(a_1 + \alpha_1' + p + \beta - f)$$
$$= \lambda + R$$

die

$$p = 90^0 - \tfrac{1}{2}a_1 - \alpha_1' - \beta + f$$
$$\lambda + R = 2c\sin\tfrac{1}{2}a_1$$

geben. Ueberblickt man nun die Zahl der unabhängigen Gleichungen und Unbekannten, so zeigt sich, dass jene fünf, und diese sechs ist, nämlich $\lambda$, $p$, $\beta$, $R$, $f$, $\zeta$. Man kann daher eine der Unbekannten beliebig annehmen. Sei zuerst

$$\beta = f$$

dann wird

$$p = 90^0 - \tfrac{1}{2}a_1 + \alpha_1'$$

und ist dadurch schon völlig bestimmt. Die Gleichungen (17) geben nun durch die Division und nachdem die vorstehenden Werthe substituirt worden sind,

$$\zeta = 2\gamma\sin\tfrac{1}{2}\alpha_1' \frac{\sin(\tfrac{1}{2}a_1 + \tfrac{1}{2}\alpha_1')}{\cos(\tfrac{1}{2}a_1 + \alpha_1')}$$

wodurch $\zeta$ bestimmt ist. Die (17) geben aber ferner

$$\lambda = (\gamma + \zeta)\cos p - \gamma\cos(p + \alpha_1')$$
$$= (\gamma + \zeta)\sin(\tfrac{1}{2}a_1 + \alpha_1') - \gamma\sin\tfrac{1}{2}a_1$$

also wird in Folge der obigen Gleichung für $\lambda + R$

$$R = (2c + \gamma)\sin\tfrac{1}{2}a_1 - (\gamma + \zeta)\sin(\tfrac{1}{2}a_1 + \alpha_1')$$

oder wenn man $\zeta$ eliminirt,

$$R = \frac{c\sin(a_1 + \alpha_1') - (c + \gamma)\sin\alpha_1'}{\cos(\tfrac{1}{2}a_1 + \alpha_1')}$$

endlich gibt die (14)

$$\sin f = \frac{R}{\gamma + \zeta}$$

womit alle Unbekannten bestimmt sind. Untersuchen wir den für $R$ erhaltenen Ausdruck. Die Gleichung (18) gibt

$$c = (c + \gamma)\frac{\alpha_1'}{a + \alpha_1'}$$

eliminirt man hiemit $c$ aus dem Ausdruck für $R$, so ergibt sich ein Ausdruck, der sich wie folgt stellen lässt,

$$R = \alpha_1' \frac{c + \gamma}{\cos(\tfrac{1}{2}a_1 + \alpha_1')}\left\{\frac{\sin(a_1 + \alpha_1')}{a_1 + \alpha_1'} - \frac{\sin\alpha_1'}{\alpha_1'}\right\}.$$

Hier ist die Grösse innerhalb der Klammern offenbar immer negativ, und folglich wird $R$ auch immer negativ, das heisst, der Kreisbogen

am Ende des Radzahns bekommt eine entgegengesetzte Lage, wie die in der Figur 13 angenommene, und bietet also den Zähnen des anderen Rades seine concave Seite dar. Dieser Eingriff ist also strenge genommen praktisch unmöglich. Aber wenn der grösste der Bögen $\alpha_1$ und $\alpha_1'$ nur nicht allzu gross angenommen wird, so wird $R$ immer sehr klein ausfallen, und könnte in der Anwendung ohne merklichen Fehler durch eine grade Linie, oder eine kleine Convexität ersetzt werden. Um zu zeigen, wie klein $R$ wird, nehme ich

$$\gamma = 248^{mm}, \quad c = 31^{mm}, \quad \alpha_1 = 45^0, \quad \alpha_1' = 5^0 37',5$$

an, womit die obige Formel

$$R = -3^{mm},84$$

gibt. Man braucht aber hiebei nicht stehen zu bleiben, denn da von unsern Unbekannten Eine willkührlich ist, so kann man $R$ beliebig annehmen, und die obigen Gleichungen in dieser Annahme auflösen. Es ergibt sich jetzt sogleich

$$(19) \quad \ldots\ldots \quad \lambda = 2c \sin \tfrac{1}{2}\alpha_1' - R$$

wodurch $\lambda$ gegeben ist. Setzt man nun zur Abkürzung

$$\beta' = \beta - f$$

und substituirt den hiemit sich ergebenden Ausdruck

$$p = 90^0 - (\tfrac{1}{2}\alpha_1 + \alpha_1' + \beta')$$

in die (17), so erhält man zuerst

$$\lambda \cos(\tfrac{1}{2}\alpha_1 + \alpha_1' + \beta') = \gamma \sin(\alpha_1' + \beta')$$
$$\lambda \sin(\tfrac{1}{2}\alpha_1 + \alpha_1' + \beta') = -\gamma \cos(\alpha_1' + \beta') + \gamma + \zeta$$

die leicht in die folgenden verwandelt werden können,

$$(\gamma + \zeta) \sin(\alpha_1' + \beta') = \lambda \cos \tfrac{1}{2}\alpha_1$$
$$(\gamma + \zeta) \cos(\alpha_1' + \beta') = \gamma + \lambda \sin \tfrac{1}{2}\alpha_1$$

und schon zur Bestimmung von $\beta'$ und $\zeta$ dienen können, nachdem $\lambda$ vermittelst eines angenommenen Werthes von $R$ aus (19) berechnet worden ist. Angemessener ist es jedoch $\beta'$ und $\zeta$ aus den folgenden zu berechnen,

$$(20) \quad \ldots \quad \left\{ \begin{aligned} \operatorname{tg}(\alpha_1' + \beta') &= \frac{\lambda \cos \frac{1}{2}\alpha_1}{\gamma + \lambda \sin \frac{1}{2}\alpha_1} \\ \zeta &= \frac{\lambda \sin \frac{1}{2}\alpha_1 + 2\gamma \sin^2 \frac{1}{2}(\alpha_1' + \beta')}{\cos(\alpha_1' + \beta')} \end{aligned} \right.$$

die leicht aus den vorhergehenden abzuleiten sind. Es wird hierauf

$$(21) \quad \ldots\ldots \quad \sin f = \frac{R}{\gamma + \zeta}, \quad \beta = \beta' + f$$

womit wieder alle Unbekannten gegeben sind.

Setzt man in den eben abgeleiteten Formeln $R = 0$, so bekommt man einen Eingriff, bei welchem man die Führung mit Anwendung eines Getriebes von acht Zähnen gänzlich vom Durchgange durch die Mittelpunctslinie an verlegen kann, während die Zähne des Getriebes vollständige Stärke bekommen. Seien $R = 0$, und die übrigen Data wie oben, nämlich

$$\gamma = 248^{mm}, \quad c = 31^{mm}, \quad a_1 = 45^0, \quad \alpha_1' = 5^0 37',5$$

wobei ich bemerke, dass der angenommene Werth von $a_1$ dem Winkel zwischen je zwei Zähnen eines Getriebes von acht Zähnen entspricht. Die obigen Ausdrücke geben nun, wenn man erwägt, dass hier wegen $R = 0$, auch $f = 0$ und $\beta' = \beta$ wird,

$$\lambda = 23^{mm},73\,, \quad \beta = -0^0 45',1\,, \quad \zeta = 10^{mm},01$$

womit die Zahncurve des Getriebes zu berechnen ist. Die Gleichungen (16) dieser Curve werden jetzt, wenn man $x$ für $r \cos v$, $y$ für $r \sin v$ und allgemein

$$\alpha = \alpha' + \beta$$

setzt, wo $\alpha' = \frac{c}{\gamma}\, a$ ist,

$$(22) \;.\;.\; \begin{cases} x = \phantom{-}(c+\gamma) \cos a - (\gamma + \zeta) \cos (a + \alpha' + \beta) \\ y = -(c+\gamma) \sin a + (\gamma + \zeta) \sin (a + \alpha' + \beta). \end{cases}$$

Die Curve, die durch diese Gleichungen dargestellt wird, ist leicht mechanisch zu construiren, wie aus der Figur 14 hervorgeht. Sei $ApqA$ der Grundkreis und $BCDkB$ der Rollkreis, der Halbmesser $DG = c$, $FD = \gamma$, $BE = \zeta$, $EG = r$, der Winkel $AGE = v$, $AGF = a$, $CFG = \alpha'$, $CFB = \beta$ und $C$ der Punct, welcher mit $A$ zusammenfällt, wenn der Rollkreis bis dahin gerollt wird, dass sein Mittelpunct $F$ auf der Graden $HAG$ zu liegen kommt. Hiemit wird

$$CD = AD,$$
$$CD = \gamma\alpha', \quad AD = ca$$

folglich

$$\gamma\alpha' = ca$$

wie oben. Die Curve, die der Punct $E$ beschreibt, wenn der Rollkreis auf dem Grundkreise überhaupt gerollt wird, ist nun die durch die Gleichungen (22) dargestellte. Um dieses zu zeigen betrachte ich das Dreieck $EFG$, in welchem die Seiten $EF = \gamma + \zeta$, $FG = c + \gamma$, $EG = r$, und die Winkel $EFG = \alpha' + \beta$, $EGF = v + a$ sind. Die Trigonometrie gibt hiermit

$$r \sin(v + a) = \qquad\qquad (\gamma + \zeta) \sin(\alpha' + \beta)$$
$$r \cos(v + a) = (c + \gamma) - (\gamma + \zeta) \cos(\alpha' + \beta)$$

die durch eine leichte Transformation

$$r \cos v = \quad (c + \gamma) \cos a - (\gamma + \zeta) \cos(a + \alpha' + \beta) = x$$
$$r \sin v = -(c + \gamma) \sin a + (\gamma + \zeta) \sin(a + \alpha' + \beta) = y$$

geben, die mit den (22) identisch sind. Verschafft man sich also zwei Kreiscylinderschnitte, den einen mit dem Halbmesser $c$, und den anderen mit $\gamma$, befestigt auf dem letztern eine Spitze, die so viel über den Umkreis hervorragt, wie der Werth von $\zeta$ beträgt, und rollt den letzteren Kreiscylinderschnitt auf den ersteren, so beschreibt die Spitze die Curve die durch die vorstehenden Gleichungen dargestellt wird. Ich werde hier die numerischen Werthe der Coördinaten einiger Puncte derselben angeben, die ich durch die vorstehenden Gleichungen berechnet habe, nämlich

| $x$ (mm) | $y$ (mm) | für $a$ |
|---|---|---|
| $x = 31{,}0$ | $y = 0{,}0$ | für $a = 45^\circ$ |
| 27,7 | 0,9 | 37 |
| 24,9 | 1,0 | 29 |
| 22,8 | 0,3 | 21 |
| 21,3 | $-0{,}9$ | 13 |
| 20,8 | $-2{,}4$ | 5. |

Nach diesen Zahlenangaben sind die Figuren 15 und 16 construirt, die ein Bild des in Rede stehenden Eingriffs in zwei verschiedenen Lagen der Zähne gegen einander geben. Die Figur der Zähne des Getriebes wird eine concave, die mit dem Endpunct des Radius $\gamma + \zeta$ des Rades in Berührung tritt. In der Nähe der Mittelpunctslinie, wo die Ordinaten $y$, wie die vorstehenden Werthe zeigen, grosse negative Werthe bekommen, ist dieser Eingriff nicht praktisch ausführbar, aber man kann ihn dort durch einen kleinen epicycloidischen Bogen ergänzen, und so ist es in den genannten Figuren geschehen. Die Ecke $f$ eines jeden Radzahns ist die, die mit der obigen Curve in Berührung treten muss, und die Figur 15 stellt den Eingriff in dem Augenblick dar, wo die Berührung in der Mittelpunctslinie stattfindet. Nun ist hier ohngefähr vom Puncte $g$ an bis $k$ die Curve so viel erweitert worden, dass in diesem Bereich gar keine Berührung mit $f$ stattfinden kann, und dagegen die Berührung in dem Puncte $a$, der beiden Theilkreisen angehört, stattfindet, während zugleich die Ecke $f$ des vorhergehenden Radzahns den Getriebzahn, mit welchem sie bis dahin in Berührung

gewesen, zu verlassen im Begriff ist. Zu dem Ende ist der Punct $a$ des Rades so bestimmt worden, dass der Winkel, den die beiden Radien $fh$ und $ab$ am Mittelpunct des Rades mit einander machen $= \beta$ ist. An $a$ schliesst sich der kleine epicycloidische Bogen $ac$ an, welcher $\gamma$ zum Grundkreis und $c$ zum Rollkreis hat, der Bogen $cf$ ist willkührlich, der Bogen $ga$ ist die obige Curve, und der Bogen $ade$ ist wieder willkührlich. Während der Bewegung fährt die Ecke $a$ des Getriebzahns zuerst fort den epicycloidischen Bogen $ac$ zu berühren, bis die Stellung, die die Figur 16 zeigt, erreicht ist. In dieser Stellung ohngefähr fängt die Berührung der Kante $f$ des Radzahns mit der Curve $ga'$ an, während noch zugleich die Berührung auf der Epicycloide stattfindet, die aber ohngefähr hier aufhört. In der Fortsetzung der Bewegung findet blos die Berührung des Puncts $f$ mit der Curve $ga'$ statt, bis das nächste Zähnepaar die Stellung erlangt hat, die die Figur 15 angibt. Man sieht hieraus, dass die Führung vor der Mittelpunctslinie gänzlich vermieden ist, während alle Zähne hinreichende Stärke bekommen. Für kleine Räder möchte die Ausführung dieses Eingriffs Schwierigkeiten darbieten, für grosse Räder lässt er sich aber gut ausführen.

Es liessen sich aus diesen Formeln noch andere Arten von Eingriffen dadurch ableiten, dass man andere Bedingungsgleichungen aufstellte, diese sollen aber hier übergangen werden.

---

Wir kommen jetzt zu den Eingriffen zweier Räder in einander, die zwar wieder in Einer Ebene liegen, und von welchen das eine wieder an seinem äussern Rande mit Zähnen versehen ist, das andere hingegen an irgend einem darauf gezogenen Kreise nach Innen verzahnt ist. Es versteht sich von selbst, dass dieses letztere Rad das grössere sein muss. Die Grundgleichungen bekommen nun zwar wieder im Allgemeinen dieselbe Form wie oben, in den algebraischen Zeichen tritt jedoch eine Verschiedenheit ein, und es wird daher anschaulicher sein diese von Neuem abzuleiten, und selbständig weiter zu behandeln. Die Figur 17 stellt den jetzigen Fall dar, und alle darin vorkommenden Bezeichnungen sind dieselben wie in der Figur 2. Es ist ohne Weiteres klar, dass die Gleichung (1) dieselbe bleibt wie oben, und also jetzt wieder

$$ca = \gamma(\alpha - \beta) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (23)$$

ist. Die Coordinaten des Berührungspuncts $h$ bekommen jetzt die Ausdrücke

$$(24) \quad \begin{cases} x = c - r\cos(a - v) \\ y = \phantom{c -} r\sin(a - v) \end{cases}$$

und

$$x = \gamma - \varrho\cos(\alpha - \varphi)$$
$$y = \phantom{\gamma -} \varrho\sin(\alpha - \varphi)$$

woraus

$$(25) \quad \begin{cases} \varrho\cos\varphi = (\gamma - c)\cos\alpha + r\cos(a - \alpha - v) \\ \varrho\sin\varphi = (\gamma - c)\sin\alpha - r\sin(a - \alpha - v) \end{cases}$$

folgt. Für die trigonometrische Tangente des Winkels, den die gemeinschaftliche geometrische Tangente am Berührungspunct $h$ mit der $x$Achse macht, bekommt man nun

$$(26) \quad \frac{dy}{dx} = -\frac{dr\sin(a - v) - r\,dv\cos(a - v)}{dr\cos(a - v) + r\,dv\sin(a - v)}$$

und da die Gleichung

$$0 = x + y\frac{dy}{dx}$$

unverändert bleibt, so wird die Bedingungsgleichung (5)

$$(27) \quad rdr = c\,dr\cos(a - v) + c\,r\,dv\sin(a - v).$$

Es muss hieran eine neue Entwickelung der verschiedenen Fälle geknüpft werden, die aber kurz gehalten werden kann, weil der Gang derselben derselbe ist wie vorher.

---

### Erster Fall.

Sei um ferner noch abzukürzen sogleich Bedingung, dass die Grade, die die Zahncurve $ghi$ darstellt, durch den Mittelpunct $G$ gehe.

Es wird jetzt $v = 0$, $dv = 0$ und hiemit geht die Bedingungsgleichung (27) über in

$$r = c\cos a.$$

Substituirt man diese Gleichungen in die (25), so ergibt sich

$$\varrho\cos\varphi = (\gamma - \tfrac{1}{2}c)\cos\alpha + \tfrac{1}{2}c\cos(2a - \alpha)$$
$$\varrho\sin\varphi = (\gamma - \tfrac{1}{2}c)\sin\alpha - \tfrac{1}{2}c\sin(2a - \alpha)$$

und eliminirt man $a$ durch die (23), wobei man zugleich $\beta = 0$ setzen darf, so werden die Gleichungen der Zahncurve $fhk$

$$\varrho\cos\varphi = (\gamma - \tfrac{1}{2}c)\sin\alpha + \tfrac{1}{2}c\cos\frac{2\gamma - c}{c}\alpha$$

$$\varrho\sin\varphi = (\gamma - \tfrac{1}{2}c)\sin\alpha - \tfrac{1}{2}c\sin\frac{2\gamma - c}{c}\alpha.$$

Diese Gleichungen gehören einer Hypocycloide an, deren Grundkreis $\gamma$ und deren Rollkreis $\frac{1}{2}c$ zum Halbmesser hat. Die angenommene Grade kann wieder als Hypocycloide definirt werden, deren Grundkreis $c$ und deren Rollkreis $\frac{1}{2}c$ zum Halbmesser hat. Gehen wir nun zum Eingriff auf der anderen Seite der Graden $FG$ über, so bekommen wir für die Zähne des Rades $G$ dieselbe Epicycloide wieder, die eben gefunden wurde, und der entsprechende Theil der Zähne des Rades $F$ werden wieder radiale Grade, die hier aber nicht als Hypocycloiden definirt werden können, da sie sich an die Hypocycloide, die eben gefunden wurde in der Richtung nach aussen anschliesst. Die Grundkreise fallen hier wieder mit den Theilkreisen zusammen.

---

## Zweiter Fall.

Hier soll um wieder abzukürzen, sogleich angenommen werden, dass die Zahncurve $ghi$ in einen auf dem Theilkreise des Rades $G$ liegenden Punct übergeht.

Es wird nun $v = 0$, $dv = 0$, $dr = 0$, $r = c$, und die Bedingungsgleichung (27) wird identisch Null. Setzt man diese Gleichungen in die (25), so entsteht

$$\varrho \cos \varphi = (\gamma - c) \cos \alpha + c \cos (a - \alpha)$$
$$\varrho \sin \varphi = (\gamma - c) \sin \alpha - c \sin (a - \alpha)$$

und wenn man $a$ durch die (23) eliminirt, wobei wieder $\beta = 0$ gesetzt werden darf,

$$\varrho \cos \varphi = (\gamma - c) \cos \alpha + c \cos \frac{\gamma - c}{c} \alpha$$

$$\varrho \sin \varphi = (\gamma - c) \sin \alpha - c \sin \frac{\gamma - c}{c} \alpha$$

welches die Gleichungen einer Hypocycloide sind, deren Grundkreis $\gamma$ und deren Rollkreis $c$ ist. Diese Form muss jetzt die Zahncurve $fhi$ des Rades $F$ bekommen. Der Eingriff auf der anderen Seite der Graden $FG$ findet wieder aus demselben Grunde wie oben nicht statt.

---

## Dritter Fall.

Die Bedingung ist gerade so wie oben in demselben Falle. Da nun wieder $\frac{dy}{dx} = -\operatorname{tg} k$ ist, so wird die (26)

$$dr \sin (s + v) + r dv \cos (s + v) = 0$$

wo wieder $k - a = s$, und hiemit erhält man aus der (27) auf dieselbe Art wie oben

$$c' = r \cos (s + v)$$

wo wieder $c' = c \cos k$ ist. Diese beiden Gleichungen werden mit den (9) und (10) identisch wenn man darin $-v$ statt $v$ schreibt und nach der Integration muss man daher den (11) analog erhalten,

$$r \cos v = c' \cos s + c' s \sin s$$
$$-r \sin v = c' \sin s + c' s \cos s.$$

Die Zahncurve $ghi$ ist also wieder dieselbe Kreisevolvente wie oben, nur hat sie in Bezug auf den Winkel $v$ die entgegengesetzte Lage. Die negative Ordinate $-r \sin v$ zeigt nämlich an, dass die Evolvente auf dem Grundkreise $c'$ sich nach der Seite der negativen $v$ hin erstreckt.

Die vorstehenden Gleichungen müssen nun in die (25) substituirt werden, und geben nachdem dieses geschehen ist zuerst

$$\varrho \cos \varphi = (\gamma - c) \cos \alpha + c' \cos (k - \alpha) + c' (k - a) \sin (k - \alpha)$$
$$\varrho \sin \varphi = (\gamma - c) \sin \alpha - c' \sin (k - \alpha) + c' (k - a) \cos (k - \alpha)$$

und verwandeln sich auf dieselbe Art wie oben in

$$\varrho \cos \varphi = \gamma' \cos (k - \alpha) + [(\gamma - c) \sin k + c' (k - \alpha)] \sin (k - \alpha)$$
$$-\varrho \sin \varphi = \gamma' \sin (k - \alpha) + [(\gamma - c) \sin k + c' (k - \alpha)] \cos (k - \alpha)$$

woraus, wenn man

$$(\gamma - c) \sin k + c' (k - a) = \gamma' (k - \alpha) = \gamma' \sigma$$

setzt

$$\varrho \cos \varphi = \gamma' \cos \sigma + \gamma' \sigma \sin \sigma$$
$$-\varrho \sin \varphi = \gamma' \sin \sigma - \gamma' \sigma \cos \sigma$$

und

$$\beta = \frac{\gamma - c}{\gamma} (\operatorname{tg} k - k), \quad \sigma = k - \alpha$$

hervorgehen. Für die Zahncurve $fhk$ haben wir also wieder eine Kreisevolvente auf dem Grundkreise $\gamma'$ erhalten, und diese erstreckt sich in entgegengesetztem Sinne, wie der Winkel $\varphi$ in der Figur. Betrachten wir diese Curven näher, so zeigt sich dass die convexe Seite der Evolvente des Rades $G$ die concave Seite des Evolvente des Rades $F$ berührt, und diese Berührungen finden auf der Graden $JA$ zu beiden Seiten des Puncts $A$ statt und dürfen in der Anwendung auf der einen Seite von $A$ sich nur höchstens bis zum Punct $J$ erstrecken. Es fragt sich nun ob die Berührungen auf der concaven Seite der Evolvente auf dem Grundkreise $\gamma'$ praktisch ausführbar sind, und hierüber muss die Grösse der Krümmungshalbmesser beider Kreis-

evolventen in den Berührungspuncten entscheiden. Wenn nämlich im Berührungspuncte der Krümmungshalbmesser der Kreisevolvente auf $\gamma'$ immer grösser ist, wie der der Kreisevolvente auf $c'$, so ist dieser Rädereingriff praktisch ausführbar, und wenn das Gegentheil stattfindet, so ist er unausführbar. Nun ist jener Krümmungshalbmesser =

$$\gamma'\sigma = \gamma'(k - \alpha)$$

und dieser =

$$c's = c'(k - a)$$

und es muss daher im Berührungspunct

$$\gamma'(k - \alpha) > c'(k - a)$$

sein. Durch Zuziehung des eben erhaltenen Ausdrucks für $\beta$ gibt die Gleichung (23)

$$c'a = \gamma'\alpha - (\gamma' - c')(\operatorname{tg} k - k)$$

und hiemit wird die eben gefundene Bedingungsgleichung zuerst

$$\gamma'k > c'k + (\gamma' - c')(\operatorname{tg} k - k)$$

oder nach einer leichten Reduction

$$2(\gamma' - c')k > (\gamma' - c)\operatorname{tg} k$$

da aber hier immer $\gamma' > c'$ ist, so wird die Bedingung schliesslich

$$2k > \operatorname{tg} k$$

und ist im ersten Quadranten von $k = 0$ bis nahe $k = 66^0 47'$, ausschliesslich, erfüllt. Die Zähne dieses Rades sind in der Figur 18 gezeichnet, in welcher die Bögen $ab$ dem Umfange des Grundkreises angehören.

---

Bisher ist stets angenommen worden, dass beide Räder, die in einander greifen sollen, in Einer Ebene liegen und folglich ihre Achsen einander parallel sind, aber es kommen häufige Fälle vor, wo dieses nicht der Fall ist, sondern diese beiden Achsen gegen einander geneigt sind. In dem Falle, in welchem die Achsen der beiden Räder einen rechten Winkel mit einander machen besteht der alte Gebrauch darin, das eine Rad auf seiner Ebene mit senkrecht darauf stehenden Zähnen zu versehen, während man das andere Rad ebenso einrichtet wie vorher beschrieben. Jene Räder nennt man Kamm- oder Kronräder. Da die Zähne dieser in dem Mantel eines Kreiscylinders liegend gedacht werden können, oder in der That in einem solchen angebracht worden sind, so bekommt man, wenn man diesen Mantel auf der Ebene abwickelt, in welcher das zweite Rad liegt, eine Stange die in das letztere eingreifen soll, und den Zähnen des Kron- oder Kammrades muss daher

eine der Formen gegeben werden, die im Vorhergehenden für den richtigen Eingriff einer Stange in ein Rad entwickelt worden sind.

Theoretisch lässt sich hiegegen nichts einwenden, aber in der Praxis tritt ein Uebelstand ein. Um von den Kräften, die auf die Räder einwirken, nicht sogleich zerstört werden zu können, muss jedes Rad eine gewisse Dicke haben, und nun ist leicht einzusehen, dass bei dem oben beschriebenen Eingriff die Seitenflächen irgend eines Zähnepaares sich nur in Einer Stellung während ihrer Wirkung auf einander in ihrer ganzen Ausdehnung berühren können, während in allen übrigen Stellungen nur die Kante des einen Zahns auf dem anderen anliegen kann. Wenn die Räder klein sind, und nur geringe Kräfte auf sie wirken, so hat man diesen Uebelstand nicht für so bedeutend gehalten um von dieser Art des Eingriffs abgehen zu müssen, aber wenn grosse Kräfte auf die Räder einwirken, so wird dadurch Reibung und Abnutzung so vergrössert, dass man in neuerer Zeit ihn verlassen, und den conischen Eingriff an seine Stelle gesetzt hat. Dieser soll jetzt untersucht werden.

Sei in der Figur 19 $BC$ der Halbmesser des Theilkreises des einen, vorläufig als eben betrachteten, Rades und $DBE$ dessen Achse, sei ferner $CG$ der Halbmesser des Theilkreises des andern, auch vorläufig als eben betrachteten, Rades und $GE$ dessen Achse. Diese beiden Achsen sollen in Einer Ebene liegen, verlängert sich im Punct $E$ schneiden und den beliebigen Winkel $BEG$ mit einander machen. Zieht man nun $CE$, und lässt diese Grade sich mit jedem Rade für sich um die Achsen drehen, so bekommt man zwei Kegeloberflächen $EABC$ und $ECGF$, die ihre gemeinschaftliche Spitze in $E$ haben und bei ihrer Drehung um ihre Achsen sich fortwährend längs der Graden $CE$ in der Ebene der Figur berühren. Diese Drehungen können ferner so ausgeführt werden, dass die Kegeloberflächen immer auf einander rollen und nie gleiten.

Legt man durch jede dieser beiden Kegeloberflächen eine beliebige Ebene, die auch durch den Punct $E$ geht, so ist ohne weiteren Beweis klar, dass diese beiden Ebenen sich immer in einer graden Linie schneiden, die auch durch den Punct $E$ geht. Bearbeitet man daher, bei irgend welcher übrigen Form der Zähne, die Seitenflächen dieser so, dass sie allenthalben von einer durch den Punct $E$ gelegten Ebene in ihrer ganzen Breite berührt werden, so ist es klar, dass diese Seitenflächen während der Bewegung der Räder einander immer

in ihrer ganzen Breite in einer graden Linie berühren müssen, und der Uebelstand, den die eben betrachtete Art des Eingriffes darbot, findet nicht mehr statt.

Die Regeln für die Form der Zähne bei diesem conischen Eingriff können nun leicht auf die für Räder, die in Einer Ebene liegen, hingeführt werden. Ziehen wir durch den Punct $C$ und senkrecht auf $EG$ die Grade $DCH$ und die Graden $AD$ und $FH$, dann können die Dreiecke $ADC$ und $CHF$ wieder als die Projectionen von zwei Kegeloberflächen angesehen werden, welchen die gemeinschaftliche Tangente $DH$ zukommt. Diese Kegeloberflächen kann man in der Ebene abwickeln, in welcher $DH$ liegt, und der Kegel $ADC$ wird sich daher in ein Kreissegment verwandeln, welches seinen Mittelpunct in $D$ und den Halbmesser $DC$ hat. Gleicherweise wird sich in derselben Ebene der Kegel $CHF$ in ein Kreissegment verwandeln, welches seinen Mittelpunct in $H$ und den Halbmesser $CH$ hat. Diese beiden Kreissegmente werden sich im Punct $C$ berühren. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass man die Zahncurven der conischen Räder $AC$ und $CF$ so bestimmen muss, als wären sie ebene Räder mit äusserem Eingriff, von welchen der Theilkreis des erstgenannten $DC$ und der des anderen $CH$ zum Halbmesser hat.

Um $DC$ und $CH$ zu bestimmen, sei der gegebene Winkel zwischen den Achsen $BEG = q$, und die Winkel $BEC = p$, $CEG = p'$. Zieht man nun die Hülfslinie $BG$ und erwägt, dass im Viereck $CBEG$ bei $B$ und $G$ rechte Winkel sind, so folgt aus bekannten Sätzen, dass auch $BGC = p$ und $GBC = p'$ sind. Nennt man ferner die Halbmesser $BC = R$ und $CG = R'$, so gibt das Dreieck $BCG$

$$\operatorname{tg} P = \frac{R' - R}{R' + R} \operatorname{tg} \tfrac{1}{2} q$$

und wenn hieraus $P$ berechnet ist, wird

$$p = \tfrac{1}{2} q - P, \quad p' = \tfrac{1}{2} q + P.$$

Sind $p$ und $p'$ erhalten, so wird

$$c = R \sec p, \quad \gamma = R' \sec p'$$

wenn man $DC$ mit $c$ und $CH$ mit $\gamma$ bezeichnet. Mit diesen Werthen von $c$ und $\gamma$ als Halbmesser der Theilkreise müssen nun den obigen Entwickelungen gemäss die Zahncurven berechnet werden, aber um in jedem Rade gleiche Zahnweite zu bekommen, müssen die Anzahl der Zähne der beiden Räder mit den Halbmessern $R$ und $R'$ in gradem Verhältnisse stehen.

Der conische Eingriff kommt am häufigsten bei einem rechten Winkel zwischen den Achsen der beiden Räder vor, und es sollen daher die Ausdrücke für diesen Fall aus den vorstehenden allgemeinen abgeleitet werden. Sei $q = 90^0$ dann findet man leicht

$$\operatorname{tg} p = \frac{R}{R'}, \quad p' = 90^0 - p.$$

Hiemit werden also

$$c = \frac{R}{\cos p}, \quad \gamma = \frac{R'}{\sin p}$$

und bei der Anwendung des Evolventeneingriffs die Grundkreise $c'$ und $\gamma'$

$$c' = R\frac{\cos k}{\cos p}, \quad \gamma' = R'\frac{\cos k}{\sin p}$$

wenn man $k$ in derselben Bedeutung wie oben bei der Ableitung der Ausdrücke für den Evolventeneingriff nimmt. Machen nicht nur die Achsen der beiden Räder einen rechten Winkel mit einander, sondern sind die beiden Räder auch gleich gross, so geben die vorstehenden Ausdrücke

$$p = p' = 45^0$$

$$c = \gamma = \frac{R}{\cos 45^0}, \quad c' = \gamma' = R\frac{\cos k}{\cos 45^0}$$

und wenn man $k = 15^0$ setzt,

$$c' = \gamma' = R\,1.3660.$$

Wenn also z. B. $R = 100$ Millimeter ist, so werden die Halbmesser der Grundkreise $c' = \gamma' = 136,6$ Millimeter.



# Ueber einen Apparat zur Messung sehr kleiner Zeiträume.

Von

**W. Hankel.**

(Hiezu Taf. IX, Fig. 5—7.)

(Vom Herrn Verfasser aus den Berichten der kgl. sächsischen Gesellschaft gütigst mitgetheilt.)

Behufs der Lösung gewisser Aufgaben war ich veranlasst, einen Apparat zu construiren, der sehr kleine Zeiträume mit ebenso viel Genauigkeit als Bequemlichkeit zu messen gestattete. Da derselbe wohl bei den meisten der in der Physik mannigfach vorkommenden Untersuchungen, welche die Messung sehr kleiner Zeiten erfordern, mit Vortheil benutzt werden kann, so hoffe ich, dass die Angabe seiner Einrichtung, die von den bisher angewandten in manchen nicht unwesentlichen Punkten abweicht, nicht ohne Interesse sein wird.

Wie bei allen zu diesem Zwecke bestimmten Apparaten erfolgt auch bei meiner Einrichtung durch Zuhülfenahme einer nach bekannten Gesetzen vor sich gehenden Bewegung eine Verwandlung des Zeitunterschiedes in einen Raumunterschied, und zwar werden Anfangs- und Endpunct des zu messenden Zeitraumes durch zwei mittelst galvanischer Ströme in Bewegung gesetzte Hebelvorrichtungen auf einem bewegten Körper verzeichnet.

Der bewegte Körper, auf welchem die Zeichen aufgetragen werden, besteht aus einem Paraffinringe *A* (Fig. 5 Taf. IX) der in eine Rinne einer 285$^{mm}$ im Durchmesser haltenden messingenen Scheibe *BD*, eingegossen ist. Die Rinne *A* ist 36$^{mm}$ breit und 8$^{mm}$ tief, und steht 5$^{mm}$ vom äussersten Rande der Scheibe ab. Um den Paraffinring herzustellen, wird die Scheibe genau horizontal gerichtet, und sodann

erhitzt, bis die in die Rinne gelegten durch Alkanna tief dunkelroth gefärbten Paraffinstücke[1]) geschmolzen sind.

Nach dem Erkalten wird die Messingscheibe auf dem vorderen Ende *C* einer horizontalen Axe *CE* befestigt, welche durch ein grosses aus sorgfältig gearbeiteten messingenen Zahnrädern und Getrieben gebildetes Räderwerk in gleichförmige Umdrehung gesetzt werden kann. Um nun aus der Oberfläche des Paraffins eine auf dieser Drehungsaxe *CE* senkrechte Ebene zu bilden, wird dieselbe mittelst eines mehr oder weniger breiten Meissels während des Umlaufs selbst abgedreht. Zu diesem Behufe wird nach dem Aufsetzen der Scheibe auf den Zapfen *C* vor ihrer linken Seite auf dem den ganzen Apparat tragenden starken Tisch ein hölzerner Support *FG* mittelst der Schraube *F* aufgeschraubt. Das obere Ende *G* dieses Supports befindet sich im Niveau des horizontalen Durchmessers der Scheibe *BD* und dient zum Auflegen der Meissel.

Um die Lage der Marken auf der Scheibe genau angeben zu können, ist der auf der Vorderfläche neben dem Paraffinringe noch vorhandene $5^{mm}$ breite Rand in ganze und halbe Grade eingetheilt worden. Ueber dem höchsten Puncte dieses Randes befindet sich ein Nonius *HJ*, der noch Zehntel eines halben Grades zu messen gestattet. Dieser Nonius trägt zugleich in der Richtung des Radius der Scheibe ein kleines Lineal *HK*, das über die Paraffinfläche hinwegreicht. An der mit dem Nullpuncte des Nonius zusammenfallenden scharfen rechten Kante des Lineals werden die auf der Scheibe eingedrückten Marken eingestellt und durch Ablesen des Nonius ihre Lage auf der Scheibe bestimmt. Die erwähnte scharfe Kante trägt noch eine Eintheilung in Millimeter, um den Abstand der Marken vom äusseren Rande des Paraffinringes zu erkennen, und in Folge dessen die Auffindung der

---

1) Das zu dem Ringe verwandte Paraffin muss einen Zusatz von Stearin erhalten, um weniger zähe zu sein; es würde sonst durch seinen Widerstand beim Einschlagen der nachher zu beschreibenden Spitzen die gleichförmige Rotation der Scheibe etwas beeinträchtigen können. Anfangs versuchte ich reines Stearin anzuwenden, das seiner Weichheit wegen gar sehr geeignet erschien, aber durch seine starke Zusammenziehung beim Erkalten Uebelstände veranlasste, indem der Ring breite Risse bekam und sich, trotzdem dass das Stearin in der Rinne selbst geschmolzen war, öfter vom Metall ganz ablöste. Ich setze daher dem Paraffin so viel Stearin zu, dass es möglichst seine Zähigkeit verliert und die zuletzt genannten Uebelstände noch nicht eintreten. Das Färben der Substanz geschieht einfach durch Eintauchen von Alkannawurzel in die geschmolzene Masse.

zu den einzelnen Versuchen gehörigen Zeichen zu erleichtern. Während des Umlaufs der Scheibe wird der zwischen den Spitzen $L$ und $M$ bewegliche Nonius nach oben zurückgeschlagen.

Um nun die Geschwindigkeit, mit welcher die Scheibe umläuft, durch den Apparat selbst verzeichnen zu lassen, ist folgende Einrichtung getroffen. Die Welle $CE$, auf welcher die Scheibe sitzt, trägt in $N$ einige Schraubengänge, in welche die Zähne eines kleinen Rades $O$ eingreifen. Auf der Axe $PQ$ dieses Rades befindet sich in $P$ eine kleine spiralförmig gestaltete Scheibe, die an einer Stelle einen plötzlichen Abfall von $10^{mm}$ besitzt. Auf dem so gestalteten Rande dieser kleinen Scheibe liegt der Vorsprung $R$ eines Hebels, der in der Stütze $SW$ bei $S$ seinen Drehpunct hat, und in $T$ einen eisernen Hammer trägt. Beim Umlaufen der spiralförmigen Scheibe wird durch den Vorsprung $R$ der Hebel gehoben und fällt dann plötzlich nieder, wenn der Vorsprung die Stelle des erwähnten Abfalles erreicht. Das Herabfallen des Hebels erfolgt genau nach 30 Umläufen des Paraffinringes.

Auf dem Hebel $ST$ ist in $V$ (isolirt durch Elfenbein) ein Messingstück befestigt, durch welches zwei an den unteren Enden mit Platinspitzen versehene Schrauben hindurchgehen. Diese Platinspitzen tauchen beim Herabfallen in zwei mit Quecksilber gefüllte Vertiefungen des Holzstückes $V'$, die mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung stehen. Beim Herabfallen des Hebels wird also diese Kette geschlossen. Der Strom dieser Kette geht nun durch den einen Electromagnet eines Registrirapparates, wie solche jetzt bei astronomischen Beobachtungen im Gebrauche sind, und erzeugt mittelst der Spitze eines durch den Electromagnet in Bewegung gesetzten Hebels auf einem durch ein Uhrwerk vorbeigeführten Papierstreifen einen Eindruck.

Durch den zweiten gleich neben dem ersten stehenden Electromagnet dieses Registrirapparates fliesst ein anderer Strom, der durch einen mit einer Secundenuhr verbundenen Krille'schen Unterbrecher[1])

1) Der Krille'sche Unterbrecher besteht aus zwei kleinen mit engen seitlichen Oeffnungen versehenen und mit Quecksilber gefüllten Gefässen. Die beiden Oeffnungen stehen einander in so geringem Abstande gegenüber, dass das Quecksilber zwischen ihnen einen kurzen Faden bildet, ohne auszufliessen. In die beiden Quecksilbergefässe werden die Enden der galvanischen Kette geleitet; so lange der Quecksilberfaden besteht, ist dieselbe geschlossen. Bei der von mir gewählten Einrichtung wurde derselbe durch ein schmales Glimmerblättchen, das an einem durch das Pendel einer Secundenuhr bewegten Hebelarme befestigt war, durchschnitten, und somit in jeder Secunde die Kette einmal geöffnet. Da das Glimmerblättchen nur schmal



jede Secunde geschlossen und geöffnet wird; die Spitze des zu ihm gehörigen Hebels erzeugt also auf dem zuvor erwähnten Papierstreifen jede Secunde einen Eindruck[1]). Aus den in neben einander liegenden Reihen befindlichen Eindrücken lässt sich die während 30 Umläufen des Paraffinringes verflossene Zeit bis auf wenige Hundertstel einer Secunde bestimmen, und sonach die Umdrehungsgeschwindigkeit desselben mit grosser Genauigkeit berechnen.

Nach Erläuterung des zur Messung der Rotationsgeschwindigkeit des Paraffinringes dienenden Verfahrens gehe ich zu der Beschreibung derjenigen Vorrichtung über, durch welche die Marken, welche den Anfangs- und Endpunct des zu messenden sehr kleinen Zeitintervalles bezeichnen sollen, auf dem Paraffinringe hervorgebracht werden.

Vor der rechten Seite des Paraffinringes stehen im Niveau des horizontalen Durchmessers der Scheibe *BD*, 16,6$^{mm}$ von einander entfernt, die Spitzen *a*, *a* zweier Hebel *l*, *l*, welche durch zwei Electromagnete in Bewegung gesetzt werden, und beim Vorwärtsschlagen einen schwachen Eindruck in der Paraffinmasse erzeugen.

Diese Hebel sammt den Electromagneten befinden sich auf einer 11$^{mm}$ dicken Messingplatte *bb*, die sich vor dem Paraffinringe in einer mit seiner Ebene parallelen Richtung zwischen zwei Leisten *cc* und *d* verschieben lässt; die durch die Leiste *cc* hindurchgehende Schraube *e* drückt die Messingplatte stets an die der Scheibe zunächst liegende Leiste *d* an. Die Verschiebung der Messingplatte zwischen ihren Leisten um bestimmte kleine Strecken wird durch die Schraube *f* bewirkt, welche gegen den rechten Rand der Platte drückt.

An dem uns zugewandten Rande der Messingplatte erheben sich zwei starke 75$^{mm}$ breite und 40$^{mm}$ hohe Eisenstücke *gg*, *gg*, in jedes dieser Eisenstücke sind zwei etwas über 10$^{mm}$ dicke, und gegen 100$^{mm}$ lange massive Eisenkerne eingeschraubt; auf jeden derselben ist eine aus vielen Windungen eines mässig starken mit Seide übersponnenen

---

war, so trat es gegen Ende jeder Schwingung des Pendels aus der Verbindungslinie beider Oeffnungen heraus und das sofortige Zusammenfliessen des Quecksilbers schloss die Kette von Neuem.

1) Ist das Glimmerblättchen in Bezug auf den Hin- und Hergang des Pendels nicht genau gleich gestellt, so sind die Intervalle zwischen den geraden und ungeraden Schlägen nicht gleich. Man hat dann entweder eine Correction an die einzelnen Secunden anzubringen, oder muss die Abstände der Eindrücke des anderen Electromagnets nur von den geraden, oder nur von den ungeraden Secundenschlägen aus abmessen.



Kupferdrahtes gebildete Spirale *h*, *h*, *h*, *h* aufgeschoben. Je zwei dieser Eisenkerne, welche in demselben Eisenstücke sitzen, bilden einen hufeisenförmigen Magnet, wenn die betreffenden Spiralen in entsprechender Weise mit einer galvanischen Kette verbunden werden.

Vor den beiden Polen der Electromagnete hängen zwei aus Eisenplatten von $60^{mm}$ Breite, $36^{mm}$ Höhe und fast $5^{mm}$ Dicke bestehende Anker *i*, *i*, die um Spitzen, welche in drei starken von der Messingplatte sich erhebenden Messingstützen *k*, *k*, *k* angebracht sind, sich drehen. Werden diese Anker gegen die Pole der Electromagnete gezogen, so bewegen sich die oberhalb ihrer Drehaxe befindlichen Hebel *l*, *l* mit ihren Spitzen *a*, *a* gegen den Paraffinring. Nach dem Oeffnen der Kette ziehen die an den Armen *r*, *r* wirkenden Spiralfedern *m* (Fig. 5 und 6), deren Spannung durch die Schrauben *n* vergrössert und verkleinert werden kann, die Anker wieder zurück. Die Hubhöhe (der den Ankern gestattete Weg) wird durch die Schrauben *o* regulirt.

Man sieht leicht ein, dass die Spitzen nicht während eines längeren Schlusses der durch die Spiralen der Electromagnete geleiteten electrischen Ströme in die Paraffinmasse eingedrückt bleiben dürfen, indem sonst anstatt kurzer Marken vollständige Kreise in das Paraffin verzeichnet würden. Dies liesse sich allerdings vermeiden, wenn man die Hebel *l*, *l* aus einem federnden Stäbchen bildete; indess nehmen die Schwingungsweiten eines solchen so langsam ab, dass man anstatt einer einzigen Marke in der Paraffinmasse zahlreiche auf einem Kreise liegende Eindrücke erhält. Da es nur auf die Lage des ersten Eindrucks ankömmt, so werden die folgenden Eindrücke keine Störung bewirken, wenn sie sich nur nicht über den ganzen Umkreis erstrecken. Um jedoch jedenfalls durch den Schluss der Kette eines Electromagnets nur einen einzigen Eindruck zu erhalten, muss den Hebelarmen *l*, *l* so zu sagen ein Gelenk gegeben werden; jeder Hebelarm *l*, *l* ist zwischen zwei Spitzen, die durch nach oben gerichtete Fortsätze *p* (Fig. 6) der Anker *i* (Fig. 5) gehen, beweglich. Der horizontale Fortsatz *q* ruht auf dem durch den Arm *r* mit dem Anker festverbundenen kleinen Ansatze *s* und wird durch die Spiralfeder *t* stets gegen denselben zurückgezogen. Wird der Anker vom Magnet angezogen, so treibt also der Fortsatz *s* den Hebel *l* und die in seinem oberen Ende befindliche Spitze *a* gegen die Paraffinmasse; infolge der erlangten Geschwindigkeit fliegt diese Spitze, sobald der Anker plötzlich an die Pole schlägt, noch weiter vor, indem die kleine Feder *t* etwas nach-

gibt; die Weite, um welche die Spitze nach vorwärts geht, wird durch die Schrauben *u* regulirt. Sobald aber die Spitze in die Paraffinscheibe gedrungen, zieht die Feder *t* den Arm *l* zurück. Durch die Stellung der Federn *m* und *t*, der Schrauben *o* und *u*, und der in den Köpfen *a* ebenfalls vorhandenen Schrauben kann nun die Anordnung so getroffen werden, dass beim Schluss der Ketten die Spitzen *a*, *a* in die Paraffinscheibe einschlagen, sofort aber durch die Federn *t* zurückgezogen werden, und bei fortdauerndem Schlusse der Ketten die Paraffinscheibe nicht weiter berühren, jeder Schluss der Kette also nur eine einzige Marke erzeugt, die jedoch nicht als Punct, sondern je nach der Spannung der Federn *t* und der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe als ein Strich von einem oder einigen Millimetern Länge erscheint. Durch die zuvor genannten Mittel lässt es sich auch bewerkstelligen, dass die beiden Spitzen vom Eintritt des Stromes an bis zum Einschlagen in das Paraffin gleiche oder wenigstens sehr nahe gleiche Zeit gebrauchen. Ich werde indess später zeigen, dass eine absolute Gleichheit dieser Hubzeit, wie ich es nennen möchte, nicht nöthig ist, indem der etwa vorhandene Unterschied in den beiden Hubzeiten bei jeder Versuchsreihe gemessen und in Rechnung gebracht wird. Die Spitzen lässt man stets nur so weit einschlagen, dass ihr Eindruck eben noch deutlich erkannt wird.

Um eine Reihe von Versuchen hinter einander ausführen zu können, ist, wie bereits erwähnt, die Messingplatte mit den Electromagneten und den Hebeln und Spitzen *a*, *a* in einer der Scheibe *BD* parallelen Richtung verschiebbar. Man stellt dieselbe zunächst so, dass die rechte Spitze *a* nahe am rechten Rande des Paraffinringes *A* steht; ist durch den Schluss der Ketten auf diesem Ringe von jeder Spitze eine Marke erzeugt, so werden durch Umdrehen der Schraube *f* die Messingplatte und somit die Spitzen *a*, *a* etwas nach links verschoben und dies so lange wiederholt, bis die linke Spitze den linken Rand des Paraffinringes nahe erreicht. Mittelst des kleinen quer über den Ring gelegten Lineals *HK* lassen sich die beiden zusammengehörigen Marken, deren Winkelabstand gemessen werden soll, leicht herausfinden, indem ihr Abstand auf dem Radius unverändert 16,6$^{mm}$ beträgt.

Bei gewissen Vorgängen, z. B. bei Messungen der Fortpflanzung von Schwingungen, werden entweder für beide oder wenigstens für den einen Electromagnet die Umstände sich so gestalten können, dass in rasch auf einander folgenden Zeitmomenten der Schluss beider oder der einen Kette sich öfter wiederholt. Da nun in der kurzen Zwischen-

zeit zwischen zwei Schwingungen eine Verschiebung der Messingplatte sammt den Spitzen *a*, *a* durch die Schraube *f* nicht ausführbar ist, so bedurfte der Apparat noch eines weiteren Zusatzes, um nur der ersten Schwingung den Schluss der Ketten zu gestatten, während allen nachfolgenden dies versagt ist. Die zu diesem Zwecke construirte Vorrichtung besteht aus einer kleinen hölzernen Bank, *A*, *A* (Fig. 7), die mit ihren Seitenwänden auf dem rechten und linken Rande der Messingplatte *bb* (Fig. 5) ruht, und deren oberes Querbrettchen ein wenig höher als das Ende der Schrauben *w* liegt. Oberhalb der beiden Schrauben *w* (Fig. 5 und 6) hat das Brettchen zwei längliche Oeffnungen $\alpha\alpha$ und $\alpha\alpha$. Neben jeder Oeffnung befindet sich in einer auf der Scheibe senkrechten Richtung, also vor und hinter der Oeffnung eine kleine Vertiefung $\beta$, $\beta$ und $\beta$, $\beta$, deren Rand nach der Oeffnung hin etwas eingeschnitten ist. In der durch diese Einschnitte gebildeten sehr schmalen Rinne liegt ein Stückchen nicht zu dünnen Platindrahtes, das an dem über der Durchbohrung befindlichen Theile ein kleines verticales Bleistückchen $\gamma$ und $\gamma$ trägt. Jedes dieser Bleistückchen liegt, wenn die Ketten der Electromagnete nicht geschlossen sind, an einer der Schrauben *w* an. Die vier zuvor genannten Vertiefungen (Näpfchen $\beta$) sind mit Quecksilber gefüllt, und der Platindraht besitzt eine solche Länge, dass er bei der zuvor bezeichneten Lage in beide Quecksilbermassen eintaucht. Durch diesen Draht wird nun mittelst der Quecksilbermassen der Strom, der zu den Electromagneten gehen soll, geleitet. Sobald ein Electromagnet seinen Anker anzieht, stösst die zu ihm gehörige Schraube *w* das Bleistück, und somit auch den Platindraht vorwärts nach der Scheibe hin. Gibt man dem hinteren Ende des Platindrahtes gerade eine solche Länge, dass es nach dem Vorwärtsschieben durch die Schraube *w* das Quecksilber in seinem Näpfchen nicht mehr berührt, so ist dadurch der Strom dieses Electromagnets für jeden folgenden (z. B. durch die sich wiederholenden Schwingungen bewirkten) Vorgang, der bei seinem ersten Auftreten den Schluss der Kette zu bewirken vermochte, vollständig unterbrochen; es entstehen auf der Scheibe also keine weiteren Zeichen.

Oben wurde bereits erwähnt, dass eine völlige Gleichheit in der Hubzeit der beiden Electromagnete, deren Spitzen in die Paraffinscheibe schlagen, nicht erforderlich ist; es genügt, wenn diese Hubzeit für jeden einzelnen constant, oder auch selbst proportional mit der Zeit veränderlich ist. Es lässt sich nämlich leicht eine solche Einrichtung

treffen, dass während einer Versuchsreihe der Unterschied in der Hubzeit genau gemessen werden kann.

Zu diesem Zwecke gehen die Ströme, welche die beiden genannten Electromagnete wirksam machen sollen, durch eine Art von Commutator, der so eingerichtet ist, dass in der einen Lage seines Bügels die Elemente beider Ketten sich aneinanderfügen und ihren Strom durch die gleichfalls aneinander gefügten Spiralen beider Electromagnete senden, während in der anderen Lage jede Kette ihren Strom nur durch die Spiralen des ihr speciell angehörigen Magnets in den gewünschten Augenblicken führt. Dieser Umstand erfordert aber, dass die beiden Ketten sammt Grösse und Form der auf ihren Umkreisen liegenden Widerstände möglichst nahe gleich sind, damit bei Vereinigung beider Ketten zu einer die Einwirkungen auf beide Electromagnete möglichst nahe dieselben bleiben, wie bei ihrer gesonderten Wirkung. Dies ist selbstverständlich nur mit vollkommen constanten Elementen zu erzielen; leider erfreuen wir uns aber noch nicht des Glückes, kräftige constante Elemente zu besitzen, die man lange Zeit, ohne ihre Abnützung befürchten zu müssen, stehen lassen kann. Da es bei dem Gebrauche des beschriebenen Apparates aber nicht unwesentlich ist, dass derselbe zu jeder Zeit sogleich bereit steht, ohne dass man erst mit der Zusammensetzung der galvanischen Elemente sich zu befassen braucht, so habe ich, wo es nicht auf Genauigkeit von weniger als 0,0003 Secunden ankam, für jeden Electromagnet eine aus sechs Elementen (Kohle, amalgamirtes Zink und verdünnte Schwefelsäure) bestehende Kette angewandt. Die sechs Kohlen- und Zinkstücke jeder Kette lassen sich durch Umdrehen einer Schraube in ihren Glasgefässen heben und senken; es bedarf nur einiger Umdrehungen dieser Schraube, um die Kette zum Gebrauch fertig zu haben; nach Beendigung der Messungen werden durch umgekehrte Drehung der Schrauben die Kohlen- und Zinkstücke so weit gehoben, dass sie nicht mehr in die Schwefelsäure tauchen. Der Apparat bleibt auf diese Weise, da bei den Versuchen die Ketten stets nur auf sehr kurze Zeit geschlossen werden, mehrere Monate lang selbst ohne Erneuerung der Flüssigkeit brauchbar. Aber auch selbst bei dem kurzen Schluss tritt, wie man aus den weiterhin mitgetheilten Versuchsreihen ersehen kann, Polarisation ein, und es darf nicht erwartet werden, dass dieselbe selbst bei gleich lange dauernder Schliessung für beide Ketten genau dieselbe ist, oder bei darauf erfolgter, ebenfalls gleich lange dauernder Oeffnung bis auf denselben Be-

trag wieder verschwindet. Der Apparat gestattet alle diese Schwankungen zu messen; übersteigen sie die Grenzen der beabsichtigten Genauigkeit, so müssen die zuvor beschriebenen Elemente durch constante ersetzt werden.

### Bestimmung der Schwankungen in der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe und in der Hubzeit der beiden Electromagnete.

Die S. 116 beschriebenen 12 Elemente aus amalgamirtem Zink, Kohle und verdünnter Schwefelsäure waren hinter einander zu einer Kette verbunden, deren Strom die beiden Electromagnete nach einander durchlief; geschlossen wurde die Kette durch das Herabfallen des Hammers $T$ (Fig. 5), indem die Platinspitze $U$ in das Quecksilber des Gefässes $X$ tauchte.

Gleichzeitig bewirkte das Herabfallen des Hammers durch Eintauchen der beiden Platindrähte $V$ in die mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen des Holzstücks $V'$ in der S. 111 bezeichneten Weise den Schluss der Kette des einen Electromagnets im Registrirapparate, während die Kette des anderen Electromagnets dieses Apparats durch eine Uhr jede Secunde geschlossen und geöffnet wurde.

In der nachstehenden Tabelle enthält die erste Columne die Nummer der aufeinander folgenden Schläge des Hammers, die zweite die diesen Schlägen entsprechenden, auf dem Papierstreifen des Registrirapparates abgelesenen Zeiten, die dritte die Differenzen dieser Zeiten, oder die zur Vollendung von 30 Umdrehungen verbrauchten Zeiten, die vierte die Lage der Anfänge der auf der Paraffinscheibe durch die rechte Spitze gemachten Marken, die fünfte die Lage der Anfänge der gleichzeitig von der linken Spitze erzeugten Marken, und die sechste die Differenz der Lagen je zweier gleichzeitig gemachter Marken.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 22,40 | | 323,5° | 331,1° | 7,6° |
| | | 7,63 | | | |
| 2 | 30,03 | | 322,5 | 330,0 | 7,5 |
| | | 7,59 | | | |
| 3 | 37,62 | | 322,2 | 329,9 | 7,7 |
| | | 7,61 | | | |
| 4 | 45,23 | | 321,5 | 329,0 | 7,5 |
| | | 7,60 | | | |
| 5 | 52,83 | | 322,2 | 329,8 | 7,6 |
| | | 7,63 | | | |
| 6 | 60,45 | | 320,7 | 328,5 | 7,8 |
| | | 7,60 | | | |
| 7 | 68,06 | | 322,2 | 329,8 | 7,7 |
| | | 7,52 | | | |
| 8 | 75,57 | | 322,3 | 329,6 | 7,3. |

Die zweite Columne ergibt die mittlere Dauer von je 30 Umläufen = 7,597 Secunden; die grösste Abweichung davon (zwischen

7 und 8) beträgt 0,077 Sec. In dieser Grösse sind aber nicht bloss die Unregelmässigkeiten der Rotation der Scheibe, sondern auch die bei der Messung der Zeit mittelst des Registrirapparates begangenen Fehler enthalten [1]).

Aus der mittleren Dauer von 30 Umläufen (= 7,597 Sec.) erhält man die Zeit, in welcher die Paraffinscheibe sich um 1° gedreht hat, = 0,0007034 Sec. Das Mittel aus den Zahlen der letzten Columne, welche die Differenzen der Lagen je zweier zusammengehöriger Marken namhaft machen, ist 7,575°; zu einer Drehung von 7,575° ist mithin die Zeit von 0,005328 Sec. erforderlich; um dieses Intervall schlug also im Mittel die linke Spitze später in den Paraffinring als die rechte. Die grösste Abweichung von dem mittleren Unterschiede beträgt 0,275° (in Nr. 6); ihr entspricht die Zeit 0,0001934 Sec. Die Abweichungen in der Differenz der Hubzeiten beider Magnete von dem mittleren Werthe übersteigen also nicht 0,0002 Sec.

Die kleinen Unterschiede zwischen den Zahlen der vierten und ebenso zwischen den Zahlen der fünften Columne sind durch den nicht stets in gleicher Weise erfolgten Abfall des Hammers entstanden, und haben auf die Genauigkeit der Messungen keinen bemerkbaren Einfluss; denn diese Unterschiede sind zu gering, als dass sie bei der Zeitmessung mittelst des Registrirapparates, wo allerdings der Fall des Hammers die eine Marke hervorbringt, Bedeutung erlangen könnten, und bei den Marken der Paraffinscheibe handelt es sich nur um die Differenzen ihrer Lage.

Zum weiteren Nachweise, dass die Abweichungen in den Differenzen der Hubzeiten den oben gefundenen Werth von 0,0002 Sec. nicht erheblich übersteigen, führe ich noch die Lagen der Marken auf der Paraffinscheibe aus einer anderen der obigen analogen Versuchsreihe an; die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe war bei dieser zweiten Beobachtungsreihe grösser als zuvor; die Dauer von 300 Umläufen derselben betrug nur 63,26 Sec.

| | Lagen der Marken der | | |
|---|---|---|---|
| | rechten Spitze | linken Spitze | Differenz |
| 1 | 349,1 | 354,7 | 5,6 |
| 2 | 348,0 | 353,8 | 5,8 |
| 3 | 349,9 | 355,4 | 5,5 |

1) Der Registrirapparat war aus einem älteren von den Telegraphenstationen ausrangirten Stöhrer'schen Doppelstiftapparate hergestellt worden.

| | Lagen der Marken der | | |
|---|---|---|---|
| | rechten Spitze | linken Spitze | Differenz |
| 4 | 348,4 | 354,5 | 6,1 |
| 5 | 349,0 | 355,3 | 6,3 |
| 6 | 349,6 | 355,6 | 6,0 |
| 7 | 349,7 | 355,7 | 6,0 |
| 8 | 349,2 | 355,4 | 6,2 |
| 9 | 350,0 | 356,6 | 6,6 |
| 10 | 348,1 | 354,0 | 5,9 |
| 11 | 346,5 | 352,5 | 6,0 |

Der Mittelwerth der Differenzen beträgt 6,0[1]). Aus der zuvor über die Dauer von 300 Umdrehungen gemachten Angabe folgt die Zeit, in welcher sich die Scheibe um 1⁰ dreht, = 0,0005857 Sec. Die grösste Abweichung in den Differenzen vom Mittel steigt nur auf 0,5⁰; dem entspricht eine Zeitdauer von 0,000293 Sec., also ein nur wenig grösserer Werth als zuvor.

Uebrigens kann in der letzten Versuchsreihe ein Theil der Abweichungen auch noch dadurch bewirkt worden sein, dass die Paraffinscheibe nicht vollständig eben abgedreht worden ist, sondern am inneren Rande mit ihrer Oberfläche etwas tiefer gelegen hat als in der Mitte und am rechten Rande. Dies würde wenigstens den Umstand erklären, dass das Mittel aus den 5 ersten Versuchen etwas kleiner sich darstellt, als aus den 5 letzten; bei der angenommenen Beschaffenheit der Oberfläche des Paraffinringes hätte die linke Spitze bei den letzten fünf Versuchen einen etwas weiteren Weg zurückzulegen gehabt, als bei den ersten fünf.

## Bestimmung der Genauigkeit, mit welcher die Hand auf ein Zeichen eine Marke zu geben vermag.

Wenn wir auf ein gegebenes Zeichen eine Bewegung mit der Hand ausführen sollen, so vergeht vom Augenblicke des Eintretens des Zeichens bis zur Vollziehung dieser Bewegung ein gewisser Zeitraum, und es kann gefragt werden, wie gross dieser Zeitraum ist, und welche Schwan-

1) Zwischen dieser und der vorhergehenden Versuchsreihe liegt ein Zeitraum von $^1/_2$ Jahr, in welcher Zeit mancherlei Aenderungen am Apparat vorgenommen worden waren; dies erklärt die Abweichung in den mittleren Werthen der Differenzen.

kungen treten in diesen Messungen auf. Ich wende mich zunächst zur Beobachtung der letzten Frage.

Wie schon oben S. 116 bemerkt, konnte durch Umlegen eines Commutators die Verbindung der beiden Batterien von je 6 Elementen erstens so hergestellt werden, dass die Ströme beider aneinandergefügt die Spiralen der beiden Electromagnete durchliefen; zweitens aber auch so, dass der Strom je einer Batterie aus 6 Elementen durch die Spiralen nur je eines der vor der Paraffinscheibe liegenden Electromagnete ging. Dabei war im letztern Falle die Einrichtung so getroffen, dass der Schluss der einen Kette durch die Platinspitze (Fig. 5) $U$ des am Apparate befindlichen Hammers erfolgte, während die andere Kette einen sogenannten Taster, wie er beim Telegraphiren mit dem Morse'schen Apparate angewendet wird, enthielt, und durch Niederdrücken des Hebels an diesem Taster geschlossen wurde. Der Hammer $T$ fiel auf ein Metallstück $Z$, und erzeugte in Folge dessen einen scharfen kurzen Schlag; gleichzeitig tauchte die Platinspitze $U$ in das Quecksilber des Gefässes $X$ und schloss dadurch die erste Kette. Auf die Wahrnehmung dieses Schlages durch das Gehörorgan drückte ich mit meiner rechten Hand den Hebel des Tasters nieder, und schloss dadurch die zweite Kette.

Um stets den Unterschied in der Hubzeit der beiden Electromagnete in Rechnung ziehen zu können, wurde derselbe bei jeder Versuchsreihe drei Mal gemessen. Gewöhnlich bestand eine Versuchsreihe, wie ich gleich eine solche ausführlich mittheilen werde, aus 11 Messungen; bei der 1., 6., 11. Messung war der Commutator so gelegt, dass beide Ketten durch beide Electromagnete gingen; wurde während die Platinspitze am Hammer in's Quecksilber tauchte, der Hebel des Tasters niedergedrückt, so wurde die ganze Kette geschlossen und beide Electromagnete schlugen (bis auf den Unterschied in ihrer Hubzeit) gleichzeitig. Bei den Messungen 2 bis 5 incl. und 7 bis 10 incl. dagegen schloss das Fallen des Hammers die eine Kette von 6 Elementen, und die Spitze des zugehörigen Electromagnets machte eine Marke in den Paraffinring, während die Spitze des anderen Electromagnets erst durch das Niederdrücken des Tasters mittelst der Hand in Bewegung gesetzt wurde.

Die ausführliche Mittheilung einer Versuchsreihe wird die Einzelheiten noch klarer machen.

| Nr. der Versuche | Zeitpunct, in welchem der Hammer fällt | Lage der Marken | | Unterschied in den Lagen der beiden Marken |
|---|---|---|---|---|
| | | der linken Spitze | der rechten Spitze | |
| 1 | 0,17 | 242,6 | 236,5 | 6,1 |
| 2 | | 350,0 | 215,1 | 225,1 |
| 3 | | 350,0 | 196,6 | 206,6 |
| 4 | | 349,6 | 199,3 | 209,7 |
| 5 | | 348,5 | 195,0 | 206,5 |
| 6 | | 191,4 | 185,0 | 6,4 |
| 7 | | 344,5 | 164,0 | 179,5 |
| 8 | | 345,4 | 184,5 | 199,1 |
| 9 | | 347,7 | 188,6 | 200,9 |
| 10 | | 347,8 | 190,5 | 202,7 |
| 11 | 79,84 | 182,5 | 186,2 | 6,3. |

Aus den beiden Zahlen der zweiten Columne ergibt sich die zu 300 Umläufen der Paraffinscheibe verbrauchte Zeit = 79,67 Secunden.

Die Marken, deren Lage in der dritten Columne verzeichnet sind, wurden mit Ausschluss der Versuche 1,6 und 11 durch den herabfallenden Hammer erzeugt, während die Marken 1,6 und 11 dieser Columne, so wie sämmtliche in der vierten Columne aufgeführte Marken dem Niederdrücken des Hebels am Taster mit der Hand ihre Entstehung verdankten, und zwar sind die unter 2, 3, 4, 5 und 7, 8, 9 und 10 der letztgenannten Columne eingetragenen Marken durch den Strom der einen Kette aus 6 Elementen, dagegen die zu 1, 6 und 11 in der dritten und vierten gehörigen Marken durch den vereinigten Strom beider Ketten, d. h. einer aus 12 Elementen gebildeten Kette, erzeugt.

Aus den Differenzen der Nr. 1, 6 und 11 in den genannten beiden Columnen ergibt sich der Unterschied in der Hubzeit der beiden Electromagnete im Mittel = 6,3°; um so viel schlägt die linke Spitze später als die rechte.

Die Differenzen der übrigen Zahlen der dritten und vierten Columne liefern das Zeitintervall zwischen dem Entstehen des Tones und des in Folge seines Hörens mit der Hand auf den Hebel des Tasters ausgeführten Drucks. Das Mittel der Differenzen 2 bis 5 ist = 212,0°; das Mittel der Differenzen 7 bis 11 ist = 195,5°; das Mittel aus allen 8 Versuchen also 203,7°. Da nun die Hubzeit des linken Electromagnets, der durch das Fallen des Hammers in Bewegung gesetzt ist,

um 6,3° grösser ist, so ist das vorstehende Mittel um diesen Betrag zu erhöhen, so dass das mittlere Zeitintervall zwischen dem Entstehen des Tones und dem ausgeübten Drucke der Hand durch eine Drehung der Paraffinscheibe um 210,0° gemessen wird. Mit Rücksicht auf die zuvor genannte Umlaufszeit von 300 Rotationen entspricht eine Drehung von 1° der Scheibe 0,0007374 Secunde.

Die Abweichungen der einzelnen Versuche von dem obigen Mittel betragen

| in Nr. | in Graden | in Zeit |
|---|---|---|
| 2 | + 21,4° | + 0,0158 Sec. |
| 3 | + 2,9 | + 0,0021 „ |
| 4 | + 6,0 | + 0,0041 „ |
| 5 | + 2,8 | + 0,0021 „ |
| 7 | — 24,2 | — 0,0178 „ |
| 8 | — 4,6 | — 0,0034 „ |
| 9 | — 2,8 | — 0,0021 „ |
| 10 | — 1,0 | — 0,0007 „ |

Die grösste Abweichung eines einzelnen Versuchs vom Mittel steigt hiernach bis 0,0178 Secunden, erreicht also noch nicht den Werth von 0,02 Sec.

Bei einer anderen ähnlichen Versuchsreihe, wobei der Hammer nicht auf ein Platinblech, sondern auf eine Metallglocke schlug, aber ebenfalls einen kurzen und scharfen Ton erzeugte, betrug das Maximum der Abweichung eines Versuches vom Mittel aus 8 Versuchen 0,01409 Sec.

Aehnliche Resultate gaben andere Versuchsreihen, so dass ich also behaupten darf, dass ich bei gehöriger Aufmerksamkeit und Uebung innerhalb einer Schwankung von noch nicht 0,02 Sec. auf das Hören eines scharfen, kurzen Schlages oder Tones ein Zeichen mit der Hand (durch Druck) zu geben vermag.

## Bestimmung der Zeit, welche zwischen der Entstehung eines Tones und einem infolge der Wahrnehmung desselben mittelst der Hand ausgeübten Drucke verfliesst.

Nicht blos mit Rücksicht auf die Physiologie, sondern auch mit Rücksicht auf physikalische Untersuchungen, sowie auf die praktische Astronomie ist die Beantwortung der Frage, welche Zeit vergeht zwischen dem Eintreten einer Erscheinung und eines unmittelbar nach

ihrer Wahrnehmung mittelst eines Druckes der Hand gegebenen Zeichens, von Interesse. Ich will zunächst die Frage beantworten, wie gross dieser Zeitraum wird, wenn ein scharfer kurzer Schlag oder Ton mittelst des Gehörs wahrgenommen wird.

Die bereits in dem vorhergehenden Abschnitte ausführlich mitgetheilte Versuchsreihe kann sofort zur Lösung der betreffenden Frage benutzt werden. Der herabfallende Hammer schloss möglichst genau in dem Augenblicke, wo er auf das Blech auftraf, durch das Eintauchen der Platinspitze $U$ in das Quecksilber $X$ die Kette des linken Elektromagnets. Um jedoch bei dem wenn auch nur geringen, doch stets vorhandenen Zurückspringen des Hammers eine neue Oeffnung der Kette infolge eines Heraustretens der Platinspitze aus dem Quecksilber nach dem ersten Eintauchen unmöglich zu machen, musste die Platinspitze ein wenig früher die Quecksilberfläche berühren, als der Hammer die metallische Unterlage (ein auf ein Kupferstück gelöthetes Platinstück) erreichte. Infolge dieses Umstandes wird der nachher zu ermittelnde Zeitunterschied etwas zu gross gefunden, indess ist der Fehler nur unbedeutend; übrigens lässt er sich, wie ich sogleich zeigen werde, durch eine geringe Aenderung des Apparates bestimmen und in Rechnung ziehen.

Sehen wir zunächst von ihm ab, d. h. nehmen an, dass die Kette linken Elektromagnets in demselben Augenblicke geschlossen werde, in welchem der fallende Hammer das untergelegte Blech trifft, so lehrt die Versuchsreihe des vorhergehenden Abschnittes, dass zwischen der Entstehung des Tones und der unmittelbar darauf ausgeführten Druckbewegung im Mittel eine Zeit verfliesst, welche bei der S. 121 angegebenen Rotationsgeschwindigkeit einem Lagenunterschiede der Marken von 210,0° entspricht. Da nun $1° = 0{,}0007374$ Sec. ist, so betragen 210,0° 0,1549 Sec.

Das Ohr stand bei den betreffenden Versuchen um 0,6 Meter von dem Orte der Erzeugung des Schalles ab. Um den Weg von 0,6 Meter zu durchlaufen, bedarf die Schallbewegung 0,0018 Sec. Wird dieser Werth von 0,1549 Sec. abgezogen, so bleiben 0,1531 Sec. Dieses Zeitintervall verfloss also, bevor ich im Stande war, auf die Wahrnehmung eines Tones durch den Druck mit der Hand ein Zeichen zu geben.

Zuvor wurde erwähnt, dass die Platinspitze ein wenig früher die Quecksilberfläche erreicht hat, als der Hammer seine metallische Unter-

lage. Der Unterschied betrug dem Raume nach ungefähr $^1/_2$ Millimeter. Die infolge des Falles des Hammers erzeugte Marke entsteht also etwas früher als der Ton. Es ist leicht, mittelst des Apparates selbst die zwischen dem Eintauchen der Platinspitze in das Quecksilber und dem Aufschlagen des Hammers verflossene Zeit zu messen.

Zu diesem Behufe wurde anstatt des gläsernen mit Quecksilber gefüllten Gefässes $X$ ein hölzernes angebracht, das durch eine Glaswand in zwei getrennte Hälften geschieden war, und die bisher angewandte eine Platinspitze durch zwei mittelst Elfenbein von einander isolirte Platinspitzen ersetzt. Die Anordnung der Leitung war weiter dergestalt getroffen, dass beim Herabfallen des Hammers von den beiden Spitzen je eine in das Quecksilber der einen Hälfte des hölzernen Gefässes eintauchte, und dadurch je eine der beiden mit den Elektromagneten in Verbindung stehenden Ketten schloss. Die Platinspitzen wurden nun z. B. in einem Versuche so gestellt, dass die eine noch ungefähr $1^{mm}$ oberhalb der unter ihr befindlichen Quecksilberfläche stand, während die andere Spitze in das Quecksilber auf ihrer Seite so eben eintauchte. Der Schluss der zu der letztern Spitze gehörigen Kette erfolgte also so viel früher, als die andere Spitze Zeit gebrauchte, um bei ihrem Fallen das bis zur Berührung des Quecksilbers noch fehlende Millimeter zurückzulegen. Durch Stellung des S. 118 erwähnten Commutators in die eine Lage konnte der Unterschied in der Hubzeit der beiden Elektromagnete, und durch Stellung in die andere Lage der Unterschied der Zeitpunkte des Eintauchens gemessen werden. Wurden diese letzteren Messungen mit Rücksicht auf den gefundenen Unterschied der Hubzeiten corrigirt, so ergab sich in der angedeuteten Versuchsreihe ein Zeitunterschied von 0,003432 Sec.

Um den Einfluss des zu frühen Eintauchens bei den früheren Versuchen auszuscheiden, wird es also hinreichen, die Hälfte der vorstehenden Angabe von dem oben erhaltenen Werthe 0,1531 Sec. abzuziehen, so dass mithin genauer die Zeit, welche in der obigen Versuchsreihe für mich im Mittel nöthig war, um nach dem Anlangen des Schalles an mein Ohr eine Bewegung mit der Hand auszuführen, 0,1514 Sec. betrug.

Mit dem vorstehenden Werthe stimmen die Mittel anderer Versuchsreihen nahe überein; so gab z. B. eine $^1/_2$ Jahr früher ausgeführte Versuchsreihe nach Anbringung der nöthigen Correctionen für die Entfernung des Ohres von der Erzeugungsstelle des Schalles und des

etwas zu frühen Eintauchens der Platinspitze den Werth 0,1452 Sec. Von zwei ein Jahr zuvor an demselben Nachmittage ausgeführten Versuchsreihen lieferte die eine den Werth 0,1503 und die andere den Werth 0,1551 Sec.

Das Mittel aus allen 4 Messungen beträgt 0,1505 Sec. Die Abweichungen der zu sehr verschiedenen Zeiten gefundenen einzelnen Werthe vom Mittel erreichen, wie man sieht, nicht 0,01 Sec.

Bei den vorstehenden Beobachtungen war der erzeugte Schlag kurz, scharf und ziemlich laut. Verliert er diese Eigenschaften, so wird die Zwischenzeit, in welcher ich mit der Hand die Druckbewegung auszuführen vermag, im Mittel je nach den Umständen 0,01 bis 0,03 Sec. grösser.

Eine solche Vergrösserung trat z. B. ein, als ich den Hammer, um das Zurückspringen zu vermeiden, auf einen Wachsklumpen fallen liess[1]); oder, wie wir später sehen werden, als der Schall durch Entfernung von seinem Entstehungsorte geschwächt wurde.

In Versuchsreihen, bei welchen mehrere meiner an Ausführung von Versuchen gewöhnten Bekannten den Hebel des Tasters nach Wahrnehmung des Falles des Hammers niederdrückten, erhielt ich etwas grössere Zahlen als meine eigenen Bewegungen ergaben, aber auch hierbei stellte sich für jeden derselben ein gewisser Mittelwerth heraus.

In drei von einem meiner Freunde unmittelbar nach einander angestellten Versuchsreihen erhielt ich z. B. für die einzelnen Versuchsreihen die Mittelwerthe (bereits corrigirt wie oben) 0,1855, 0,1849 und 0,1961 Sec., wobei die Abweichungen der einzelnen Messungen von ihrem Mittel noch 0,05 Sec. etwas überstiegen.

In drei ähnlichen von einem anderen Freunde ausgeführten Versuchsreihen ergab sich der Mittelwerth der drei Versuchsreihen 0,1796, 0,1672 und 0,1774, wobei die Abweichungen der einzelnen Messungen von ihrem Mittel ebenfalls bis 0,05 Sec. stiegen.

In einer ersten von einem jungen Mädchen ausgeführten Versuchsreihe stieg der Mittelwerth der zwischen dem Antreffen des Schalles an das Ohr und der Ausführung einer Druckbewegung durch die Hand

---

1) Bei dem Geräusche der zum Betriebe der Scheibe und des Papierstreifens im Registrirapparate dienenden Räderwerke, so wie bei den Secundenschlägen des einen Elektromagnets in letzterem hatte man Mühe, den Fall des Hammers auf das Wachs zu hören.

verflossenen Zeit bis 0,2528 Sec.; in einer kurz darauf ausgeführten sank er, wahrscheinlich infolge der erlangten Uebung, bis auf 0,2265 Sec. Dass diese Verringerung in der That eine Folge der durch die erste Versuchsreihe erlangten Uebung war, dürfte auch aus dem Umstande sich ergeben, dass die Abweichungen der einzelnen Messungen vom Mittel in der ersten Versuchsreihe bis 0,0554 Sec., dagegen in der zweiten nur bis 0,0363 Sec. stiegen. Bei einer Wiederholung der Versuche nach Jahresfrist ergab sich ebenfalls wieder ein Zeitintervall von 0,2246 Sec.

In einer von einer älteren Dame ausgeführten Versuchsreihe betrug der Mittelwerth 0,2680 Sec., während die Abweichungen vom Mittel bis 0,0532 Sec. stiegen.

Bei ungeübten Beobachtern darf man erwarten, dass im Allgemeinen die grössten Abweichungen der einzelnen Versuche vom Mittel auf Seite der grösseren Intervalle liegen werden, was sich auch durch die Beobachtungen bestätigt. Bei meinen eigenen Messungen sind die Maxima der Abweichungen der einzelnen Versuche vom Mittel im positiven und negativen Sinne gewöhnlich ziemlich gleich, und liegt das absolute Maximum bald auf der positiven, bald auf der negativen Seite.

Zur Beurtheilung der vorstehenden Resultate scheint mir die Bemerkung nicht überflüssig, dass, wenn auch zwischen den Schlägen des Hammers, je nach der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe, eine Zeit von 7 bis 14 Secunden verging, man doch wenigstens eine ungefähre Erwartung des Augenblickes hatte, in welchem der Schlag erfolgen würde. Entsteht ein Schlag völlig unerwartet, so wird die Zwischenzeit zwischen seiner Ankunft am Ohre und dem Drucke der Hand sicherlich etwas vergrössert werden.

### Bestimmung des Zeitraumes zwischen dem Aufblitzen eines Lichtes und dem Ausüben eines Druckes mit der Hand.

Es wurden zwei verschiedene Vorrichtungen construirt, mittelst deren in dem Augenblicke, wo eine gegen den hellen Himmel gerichtete, aber für gewöhnlich von einem schwarzen Schirme bedeckte Spalte plötzlich durch Niederdrücken eines Hebels frei wurde, der Schluss der einen Kette aus 6 Elementen eintrat. Ich beobachtete aus der Entfernung von einigen Fussen den Ort der Spalte, und übte sofort nach dem Wahrnehmen der hellen Lichtlinie einen Druck auf den Hebel des sogenannten Tasters aus, um hiedurch die Kette der

6 übrigen Elemente zu schliessen. Es wurden auch jetzt wieder in jeder Versuchsreihe 11 Messungen gemacht, und ebenso wie früher die 1., 6. und 11. Messung durch geeignete Stellung des S. 117 erwähnten Commutators zur Bestimmung des Unterschiedes in der Hubzeit der beiden Elektromagnete benutzt. Ich führe in dem Folgenden gleich die Mittelwerthe aus den 8 übrigen Beobachtungen, bei denen die eine Kette durch Niederdrücken des Hebels der Spalte und die andere durch Niederdrücken des Hebels am Taster geschlossen wurde, an. Das Niederdrücken des Hebels, welcher die Spalte öffnete, geschah durch einen Gehülfen, und zwar stets einige Secunden nach dem Herabfallen des Hammers; das Oeffnen der Spalte erfolgte also nicht ganz unerwartet, sondern war durch den Schlag des Hammers angekündigt. Um nicht den Schlag des durch das Oeffnen der Spalte in Thätigkeit gesetzten Elektromagnets zu hören, und etwa durch diesen Schlag zum Niederdrücken des Hebels am Taster verleitet zu werden, hatte ich meine Ohren so mit Baumwolle verstopft, dass ich den Schlag dieses Elektromagnets nicht mehr hören konnte, während der lautere Schlag des fallenden Hammers noch hinreichend wahrnehmbar blieb. Diese Vorsicht war durch den wohl nicht erwarteten Umstand geboten, dass die Zeit, welche nach dem Sehen eines Vorganges verfliesst, bevor ich mit der Hand eine Druckbewegung auszuführen vermag, nicht unerheblich grösser ist als diejenige, welche zwischen dem Anlangen eines Schalles an dem Ohre und einer infolge dessen ausgeführten Druckbewegung verfliesst.

Die folgenden Beobachtungen wurden zu sehr verschiedenen Zeiten gemacht. Die erste Columne enthält die zwischen dem Oeffnen der Spalte und der Druckbewegung verflossene Zeit im Mittel aus je 8 Versuchen, während in der zweiten Columne sich die grösste Abweichung in jeder Reihe von diesem Mittel verzeichnet findet:

| | | |
|---|---|---|
| 1. | 0,2127 Sec. | 0,0718 Sec. |
| 2. | 0,2195 „ | 0,0449 „ |
| 3. | 0,2013 „ | 0,0173 „ |
| 4. | 0,2139 „ | 0,0687 „ |
| 5. | 0,1762 „ | 0,0176 „ |

Die drei ersten Versuchsreihen waren mit dem einen, die beiden letzten nach Jahresfrist mit einem anderen Apparate ausgeführt worden. Das Mittel aus den 5 Werthen der ersten Columne beträgt 0,2057 Sec., ist also erheblich grösser, als der entsprechende Werth

im vorigen Abschnitt 0,1505 Sec. Ausserdem ist auch die Unsicherheit einer einzelnen Beobachtung viel grösser beim Sehen als beim Hören; sie kann, wie man sieht, bei mir unter ungünstigen Umständen selbst bis 0,07 Sec. steigen.

Man könnte vielleicht den Einwand machen, dass die Versuche in der bisherigen Form nicht recht vergleichbar seien mit den im vorigen Abschnitte behandelten, indem der Eindruck des hellen Himmelslichtes nicht stark genug gewesen sei, obwohl derselbe, wie ich bemerken muss, auf dem schwarzen Grunde des Schirmes, welcher die Spalte umgab, sehr grell hervortrat. Um diesen Einwand zu entkräften, liess ich das Lichtzeichen auf andere Weise geben. An einem sogenannten Taster wurde eine Einrichtung in der Art angebracht, dass in dem Augenblicke, in welchem durch das Niederdrücken des gewöhnlichen Hebels die eine Kette aus 6 Elementen geschlossen wurde, eine aus mehreren Elementen (Zink-, Kohle-, Salpetersäure) bestehende Kette geöffnet wurde. Der Strom dieser letzteren Kette durchlief die innere Rolle eines starken Inductionsapparates; im Augenblicke des Oeffnens entstand in der äussern Spirale desselben ein Inductionsstrom, der zwischen zwei vor meinen Augen befindlichen Spitzen als Funke überging. Sofort nach dem Wahrnehmen dieses Funkens drückte ich den Hebel des bereits früher gebrauchten Tasters, welcher die aus den 6 anderen Elementen bestehende Kette schloss, nieder. Ich fand die Zeit zwischen dem Schlusse der ersten Kette (mit dem wir wohl für die hier nöthige Genauigkeit die Entstehung des Inductionsfunkens gleichzeitig setzen dürfen), und zwischen dem Schlusse der zweiten Kette in zwei Versuchsreihen 0,2268 und 0,2447 Sec.

In einer von einem jungen Mädchen ausgeführten Versuchsreihe betrug der Zeitraum zwischen dem Oeffnen der Lichtspalte und der Druckbewegung durch die Hand 0,2525 Sec. (grösste Abweichung vom Mittel 0,0196 Sec.), während in einer anderen bald darauf ausgeführten Versuchsreihe über die Zeit zwischen dem Anlangen eines Schalles am Ohre und dem mit der Hand ausgeübten Drucke nur 0,2246 Sec. (grösste Abweichung vom Mittel 0,0536) erhalten wurden.

Im Allgemeinen dürfte also wohl die Behauptung als richtig gelten, dass der Zeitraum zwischen dem Wahrnehmen einer Erscheinung und dem Ausführen einer Druckbewegung mit der Hand kürzer ausfällt, wenn die betreffende Erscheinung mittelst des Ohres als wenn sie mittelst des Auges aufgefasst wird. Die äusseren Verhältnisse, unter

welchen die mitgetheilten Versuche ausgeführt wurden, kann man insofern als einander entsprechend betrachten, als, während auf das Auge zerstreutes Tageslicht einwirkte, das Ohr dem fortwährenden Getöse der umlaufenden Räderwerke, so wie den harten Secundenschlägen des Registrirapparates ausgesetzt war.

### Bestimmung der Zeit zwischen einem auf den rechten Vorderarm ausgeübten Drucke und der nach Wahrnehmung desselben mit der Hand dieses Armes ausgeführten Druckbewegung.

Es schien mir nicht ohne Interesse zu sein, mit den beiden im Vorstehenden angegebenen Zeiträumen, welche zwischen der Einwirkung eines Vorganges auf das Gesicht oder Gehör und zwischen der Ausführung einer Druckbewegung durch die Hand verfliessen, denjenigen zu vergleichen, welcher zwischen dem Eindrucke eines mässig starken Schlages auf den Arm und einer infolge dieser Empfindung ausgeführten Druckbewegung verläuft.

Um derartige Messungen ausführen zu können, befestigte ich mittelst Kupferdrähten ein dünnes Platinblech auf meinem rechten Unterarme; durch einen von einem Gehülfen mittelst einer massiven Messingkugel auf dieses Blech ausgeführten Schlag oder Stoss wurde die eine aus 6 Elementen bestehende Kette geschlossen, während ich durch die rechte Hand sofort nach der Empfindung dieses Schlages die Kette zu schliessen suchte. Der Schlag war stets einige Zeit nach dem Niederfallen des Hammers $T$ gegeben, so dass er nicht völlig unerwartet kam.

In einer ersten Versuchsreihe erhielt ich den Zeitraum zwischen dem Schlage und dem durch meine Hand ausgeführten Drucke = 0,1475 Sec. (grösste Abweichung vom Mittel 0,0368 Sec.), in einer zweiten unmittelbar darauf ausgeführten = 0,1614 Sec. (grösste Abweichung 0,0528 Sec.). Nach Verlauf eines Jahres erhielt ich bei einem analogen Verfahren jenen Zeitraum = 0,1548 Sec. (grösste Abweichung 0,0635 Sec.).

Das Mittel aus allen drei Versuchsreihen beträgt 0,1546 Sec., weicht also nur wenig von dem oben S. 124 für die Ausführung einer Druckbewegung nach dem Hören angegebenen Mittel ab; dagegen ergab sich die Unsicherheit der einzelnen Messungen grösser.

Bei einer von einem jungen Mädchen ausgeführten analogen Versuchsreihe betrug der Zeitraum zwischen dem Schlage auf den Arm und dem mit der Hand ausgeübten Drucke 0,2003 Sec. (grösste Abweichung vom Mittel 0,0615 Sec.), während einige Tage zuvor der Zeitraum zwischen dem Hören und dem Drucke (S. 125) 0,2246 Sec. gefunden worden. Während für mich die beiden Zeiträume sich nahe gleich ergeben hatten, war in dem letzten Falle die Zeit für Ausführung einer Druckbewegung nach einem Schlage auf den Arm etwas kleiner als nach dem Hören eines kurzen scharfen Tones.

### Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft.

Bisher sind zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles stets grössere Distanzen benutzt worden. Die Genauigkeit in der Zeitmessung, welche der zu den vorstehenden Versuchen angewandte Apparat gestattet, so wie die bei hinreichender Uebung eintretende exacte Ausführung einer Druckbewegung mittelst der Hand nach dem Hören eines kurzen Schlages lassen erwarten, dass es möglich sein wird, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auch bei Verwendung mässiger Distanzen mit einer den bisherigen Bestimmungen nicht nachstehenden Genauigkeit zu messen.

Die grösste innerhalb der Räume des physikalischen Cabinets der hiesigen Universität zur Verfügung stehende Distanz, auf welche solche Versuche ausgeführt werden konnten, betrug 25,76 Meter, und ich habe den Versuch gemacht, aus der Verbreitung des Schalles auf diese Entfernung hin seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu bestimmen.

In die Bahn jeder der aus 6 Elementen bestehenden galvanischen Ketten wurden zwei gegen 27 Meter lange mässig starke Kupferdrähte eingeschaltet und parallel neben einander auf dem Fussboden von dem zur Zeitmessung dienenden Apparate, der an dem einen Ende jener Distanz von 25,76 Meter stand, durch mehrere Zimmer hindurch bis zu dem andern Ende derselben hingeleitet. Die beiden Drähte, welche in die durch den Fall des Hammers zu schliessende Kette eingeschaltet waren, wurden unmittelbar mit ihren Enden verknüpft, während die Enden der beiden Drähte in der anderen Kette mit einem eben solchen Taster (Schlüssel) verbunden wurden, wie er bereits unmittelbar neben dem Räderwerke in eben diese Kette eingeschaltet war. Während der Messungen selbst wurde der Hebel des einen dieser beiden

Taster durch angehängte Gewichte niedergedrückt erhalten, so dass das Niederdrücken des Hebels an dem anderen den Schluss der Kette bewirkte. Ich ziehe es im vorliegenden Falle vor, die einzelnen Messungen selbst mitzutheilen, damit Jeder sich leichter eine klare Einsicht in die auf diesem Wege zu erzielende Genauigkeit verschaffen kann.

Eine erste Versuchsreihe führte ich auf die Weise aus, dass der Hebel des 25,76 Meter vom Zeitmessungsapparate entfernten Tasters durch Gewichte geschlossen gehalten wurde, während ich unmittelbar nach dem Schlage des Hammers den Hebel des neben dem Räderwerke befindlichen Tasters niederdrückte; das Ohr stand dabei von der Schallquelle um 0,6$^{m}$ ab. Bei einer zweiten Versuchsreihe wurde umgekehrt der letztere Taster durch angehangene Gewichte geschlossen gehalten, während ich in 25,76 Meter Entfernung nach Wahrnehmung des Schalles den Hebel des dort befindlichen Tasters niederdrückte. Eine dritte Versuchsreihe glich genau der ersten, eine vierte der zweiten. Wie früher S. 121 beschrieben, wurde auch jetzt in jeder Reihe der 1., 6. und 11. Versuch zur Bestimmung des Unterschiedes in der Hubzeit der beiden Hebel benutzt, und darnach der Winkelabstand der durch das Niederfallen des Hammers und der durch die Druckbewegung meiner Hand erzeugten Marken corrigirt.

| | 1. Versuchsreihe | | 2. Versuchsreihe | | 3. Versuchsreihe | | 4. Versuchsreihe | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dauer von 300 Umläufen der Scheibe | | | | | | | |
| | 92,39 Sec. | | 107,66 Sec. | | 81,82 Sec. | | 102,28 Sec. | |
| | Unterschied beider Marken | | | | | | | |
| | im Bogen | in Zeit Sec. | im Bogen | in Zeit Sec. | im Bogen | in Zeit Sec. | im Bogen | in Zeit Sec. |
| | 212,8° | 0,1821 | 291,1° | 0,2903 | — | — | 264,9° | 0,2510 |
| | 167,8 | 0,1435 | 262,4 | 0,2617 | 220,7° | 0,1672 | 237,9 | 0,2254 |
| | 187,8 | 0,1607 | 252,5 | 0,2518 | 214,0 | 0,1621 | 232,4 | 0,2201 |
| | 187,7 | 0,1606 | 224,5 | 0,2239 | 208,0 | 0,1576 | 229,1 | 0,2170 |
| | 168,7 | 0,1413 | 219,5 | 0,2189 | 221,4 | 0,1675 | 261,1 | 0,2474 |
| | 170,5 | 0,1459 | 232,5 | 0,2319 | 188,9 | 0,1431 | 233,5 | 0,2212 |
| | 166,7 | 0,1426 | 226,1 | 0,2255 | 192,7 | 0,1460 | — | — |
| | 176,4 | 0,1508 | —[1]) | — | 222,0 | 0,1682 | — | — |
| Mittel | 179,8° | 0,1534 | 244,1° | 0,2434 | 209,7° | 0,1588 | 243,1° | 0,2303 |

1) Wo die Zahlen fehlen, hatte die Spitze des einen Hebels die Paraffinfläche, die wahrscheinlich keine absolut genaue Ebene gewesen war, nicht erreicht.

Das Mittel aus der 1. und 3. Versuchsreihe ist = 0,1561 Sec.; das Mittel aus der 2. und 4. Reihe aber = 0,2368 Sec. Die Differenz beider beträgt 0,0807 Secunden. Dieser Zeitraum ist also zur Fortpflanzung des Schalles durch einen Raum von 25,76 — 0,6 = 25,16 Meter verbraucht worden.

Die Temperatur zur Zeit der Beobachtungen betrug in den Zimmern 14,1° R. Nehmen wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles bei 0° = 332,2 Meter, so würde sie bei 14,1° R. oder 17,6° C. 342,7 Meter betragen, und der Schall zum Durchlaufen eines Raumes von 25,16 Meter eine Zeit von 0,0734 Sec. gebrauchen. Die vorstehenden Messungen ergaben 0,0807 Sec., also einen um 0,0073 Sec. zu hohen Werth.

So gering diese Abweichung auch ist, so scheint sie mir doch durch einen besondern Umstand bewirkt worden zu sein. Schon oben S. 125 ist bemerkt worden, dass bei weniger harten und kurzen Schlägen die seitens der Hand ausgeführte Druckbewegung etwas später erfolgt; da nun bei den vorstehenden Messungen der Schall ausser durch den Abstand noch besonders durch den Umstand, dass er durch die Oeffnungen dreier Thüren hindurchgehen musste, sehr geschwächt wurde, so dürfte die im Schall eingetretene Veränderung eine geringe Verspätung der Druckbewegung veranlasst haben. Dafür spricht auch, dass für andere Beobachter bei gleichen Versuchen ebenfalls eine etwas zu grosse Zeit sich herausstellte. So ergab sich z. B., als Herr Dr. Zöllner einen dem vorigen analogen Versuch ausführte, die Zeit zwischen dem Falle des Hammers und dem Niederdrücken des Hebels am Taster, als er 0,94 Meter von der Erzeugungsstelle entfernt war, im Mittel in einer Versuchsreihe = 0,1698 Sec. und in einer zweiten = 0,1612 Sec., während für dieselbe Zeit in dem Abstande von 25,76 Sec. in einer Versuchsreihe 0,2496 Sec. und in einer zweiten 0,2363 Sec. erhalten wurden. Die Differenz der Mittel beträgt hiernach 0,0774 Sec.

Bei diesen Messungen war die Temperatur der Luft 21° C.; die Geschwindigkeit des Schalles würde also 344,7 Meter betragen haben, und zum Durchlaufen eines Raumes von 24,82 Meter würden 0,0720 Sec. erforderlich gewesen sein. Die Differenz zwischen dem beobachteten Werthe 0,0774 und dem berechneten beträgt also 0,0054 Sec, und zwar ist wieder der beobachtete Werth um diesen Betrag grösser als der berechnete.

Ich habe im Vorstehenden die von Moll im Jahre 1823 gefundene

Geschwindigkeit des Schalles zu Grunde gelegt; die in den vorhergehenden Abschnitten über den Zeitunterschied zwischen dem Wahrnehmen einer Erscheinung durch die verschiedenen Sinne und der Ausführung einer Druckbewegung mitgetheilten Messungen, sowie die bekannten Verschiedenheiten in den persönlichen Fehlern bei astronomischen Beobachtungen dürften eine Wiederholung der Messung der Schallgeschwindigkeit mit Rücksicht auf alle jetzt bekannten Fehlerquellen nicht überflüssig erscheinen lassen. Bei Anwendung eines dem zuvorbeschriebenen analogen Verfahrens würde eine Distanz von noch nicht 1000 Meter hinreichen, um die Schallgeschwindigkeit weiter als auf $^1/_{300}$ genau zu ermitteln, da zufolge der zuvor berichteten Beobachtungen die Abweichungen sich innerhalb 0,01 Sec. halten.

## Messung der Verzögerung in der Ausbildung eines elektrischen Stromes durch Einschaltung von spiralförmigen um Eisenkerne gewundenen Drähten.

Zum Schluss will ich noch auf eine andere Verwendung des vorstehend beschriebenen Apparates eingehen, nämlich auf die Verwendung desselben zur Messung der Verzögerung in der Ausbildung elektrischer Ströme, und zwar möge hier als Beispiel der Fall dienen, wo zwar gleiche Widerstände, aber in verschiedener Form in die Bahn der Kette eingeschaltet werden.

Um einen massiven hufeisenförmigen Eisenkern, dessen Schenkel gegen 500$^{mm}$ Länge und 108$^{mm}$ im Durchmesser hatten, waren gegen zwei Centner eines 2,2$^{mm}$ dicken mit Baumwolle und Gutta percha übersponnenen Kupferdrahtes gewunden. Die gesammte Drahtmasse war auf vier Rollen vertheilt, die auf die Schenkel des Eisens aufgesetzt werden konnten: es wurden jedoch die Drähte so mit einander verknüpft, dass ein elektrischer Strom nicht den ganzen Draht hintereinander, sondern, durch Zusammennehmen je zweier Rollen, nur einen Draht von halber Länge, aber doppelter Dicke zu durchlaufen hatte. Sodann war mittelst eines Differentialgalvanometers ein auf einem dicken Serpentincylinder aufgewundener Neusilberdraht so abgeglichen, dass er einem constanten Strome denselben Widerstand wie jener Kupferdraht darbot. Es sollte nun ermittelt werden, wie gross die Verzögerung in der Ausbildung eines elektrischen Stromes ausfällt, bis er einen Elektromagnet bis zum Anziehen seines Ankers magnetisirt hat, wenn der Strom erst den Neusilberdraht und sodann anstatt dessen

den spiralförmigen Kupferdraht von gleichem galvanischen Widerstande zu durchlaufen hat.

Zu diesen Bestimmungen musste die Anordnung etwas anders getroffen werden, als zuvor. Anstatt der einen Platinspitze $U$ wurden die schon S. 124 erwähnten zwei, durch Elfenbein von einander isolirten Platinspitzen an dem vorderen Ende des Hammers angebracht, und unter ihnen das in zwei Hälften geschiedene hölzerne Gefäss aufgeschraubt. Beim Niederfallen des Hammers schlossen die beiden Spitzen durch Eintauchen in die Quecksilbermassen der beiden Hälften des hölzernen Gefässes zwei getrennte galvanische Ketten. Die eine Spitze schloss eine Kette von 6 Zink-Kohlen-Elementen, welche während einer Versuchsreihe völlig ungeändert blieb, und erzeugte daher stets in gleicher Weise eine Marke auf der Paraffinscheibe. Die andere Spitze dagegen schloss eine aus den gewöhnlichen 6 Zink-, Kohlen-, und aus einigen hinzugefügten Daniell'schen Elementen bestehende Kette, in deren Bahn abwechselnd der Neusilberdraht und die Kupferspiralen eingeschaltet wurden; brachte letztere eine Verzögerung hervor, so musste die Marke auf dem Paraffinringe später erscheinen, als bei Einschaltung des im Widerstande gleichwerthigen Neusilberdrahtes.

Die beiden Platinspitzen brauchen nicht gleichzeitig in das Quecksilber einzutauchen; es genügt, wenn der Unterschied in ihrem Eintauchen ungeändert derselbe bleibt, da die gesuchten Werthe durch die Differenzen der Marken, welche die zweite Spitze veranlasst, gefunden werden.

Es möge hier eine Beobachtungsreihe ausführlich mitgetheilt werden.

| | | Marken durch die unverändert bleibende Kette | Marken durch die zweite Kette bei Einschaltung | | Unterschiede | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sec. | | des Neusilberdrahtes | der Kupferspiralen | | |
| 1 | 0,00 | 290,5 | | 330,9 | | 40,4 |
| 2 | | 291,0 | 295,0 | | 4,0 | |
| 3 | | 292,0 | | 333,9 | | 41,9 |
| 4 | | 294,0 | 297,7 | | 3,7 | |
| 5 | | 295,1 | | 340,5 | | 45,4 |
| 6 | | 290,1 | 294,2 | | 4,1 | |
| 7 | | 284,1 | | 325,3 | | 41,2 |
| 8 | | 285,0 | 289,5 | | 4,5 | |
| 9 | | 283,3 | | 324,5 | | 41,2 |
| 10 | | 285,0 | 289,1 | | 4,1 | |
| 11 | 131,23 | 286,3 | | 326,5 | | 40,2 |

Das Mittel der letzten Columne ist 41,72, der vorletzten 4,08; im Mittel ist also durch die Einschaltung der Kupferspiralen eine Verzögerung um $41,72 - 4,08 = 37,64^0$ eingetreten. Die Zeit zu 300 Umläufen betrug nach den Zahlen der zweiten Columne 131,23 Sec.; einer Verzögerung um $37,64^0$ entspricht also ein Zeitraum von 0,04573 Sec.

Bei der eben beschriebenen Versuchsreihe waren die Pole des grossen Hufeisens frei; in einem folgenden Versuche wurden dieselben jeder mit einem sogenannten Halbanker (Eisenstück von $230^{mm}$ Länge, $111,8^{mm}$ Breite und $47,0^{mm}$ Höhe) bedeckt, und die einander zugewandten etwas konisch verjüngten Enden dieser Eisenstücke bis auf einen geringen Abstand einander genähert. Durch diesen Umstand stieg, unter sonst gleichen Bedingungen, die Verzögerung von 0,04573 Sec. auf 0,06334 Sec.

Diese Versuche lehren deutlich, wie alle Messungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität bei Anwendung von Drähten, die spiralförmig gewunden sind und Eisenkerne enthalten, durchaus unbrauchbar sind.

Die bisher behandelten Fälle werden genügen, um die mannigfache Verwendung des beschriebenen Apparates darzulegen; die Mittheilung der Resultate anderer damit ausgeführter Versuchsreihen behalte ich einer späteren Mittheilung vor.

---

# Ueber die bisher in Anwendung gebrachten galvanometrischen Einrichtungen.

Von

**Ph. Carl.**

(Hiezu Tafel X, XI, XII.)

1) Die Instrumente, welche zur Bestimmung der Stärke galvanischer Ströme benützt werden, heissen Rheometer.

Die bisher in Anwendung gebrachten Rheometer zerfallen in drei Classen:

a) in electromagnetische Rheometer oder Galvanometer;
b) in electrodynamische Rheometer oder Dynamometer;
c) in electrochemische Rheometer oder Voltameter.

In der vorliegenden Abhandlung sollen nun die Instrumente der ersten Classe in den ihnen bisher gegebenen Einrichtungen näher behandelt werden; bevor wir aber hiezu übergehen, wird es geeignet sein, einige allgemeine Puncte und Entwickelungen, welche zum Verständnisse der verschiedenen Apparate erforderlich sind, im Voraus zusammenzustellen.

2) Die sämmtlichen galvanometrischen Einrichtungen beruhen auf der durch einen galvanischen Strom auf eine neben, über oder unter ihm befindliche Magnetnadel hervorgebrachten Ablenkung. Der Sinn, in welchem diese Ablenkung im Allgemeinen erfolgt, lässt sich nach der bekannten, von Ampère zuerst aufgestellten[1]) Regel ein für alle Mal bestimmen.

„Denkt man sich einen Menschen, den Kopf nach vorn gerichtet, in der Richtung des Stromes so schwimmend, dass sein Gesicht der Magnetnadel zugewendet ist, so wird der Nordpol derselben immer nach links abgelenkt.“

---

1) Annales de Chim. et de Phys. 1820. T 15. p. 59. 170.

Die Grösse der so hervorgebrachten Ablenkung gibt das Maass für die Stärke des den Leiter durchfliessenden Stromes und wir haben deshalb das Verhältniss kennen zu lernen, in welchem die Stromstärke zum Ablenkungswinkel steht.

3) Bei den meisten galvanometrischen Instrumenten wird der Strom in einem kreisförmigen Leiter um die Magnetnadel herumgeführt und wir wollen deshalb zunächst die Wirkung eines solchen Kreisstromes auf ein in seiner Axe befindliches magnetisches Theilchen bestimmen.

Es sei in Fig. 1 Tafel X $bdmn$ der Kreisstrom und $e$ das in seiner Axe $ac$ befindliche magnetische Theilchen. Betrachten wir vorerst die Wirkung des Stromelementes $mn$ auf das Theilchen $e$ und setzen zu diesem Behufe die in der Längeneinheit enthaltene galvanische Kraft, d. h. die Stromstärke $= g$, ferner den Bogen $bm = \varphi$, $mn = d\varphi$, den Halbmesser $cb$ des Kreises $= r$, so ist die im Elemente $mn$ enthaltene Kraft

$$= g r d\varphi.$$

Geht der Strom in der Richtung von $b$ nach $n$, so wird dadurch der Nordpol des Theilchens $e$ nach $f$, der Südpol nach $f'$ hin bewegt und zwar mit einer Kraft

$$= \frac{g r d\varphi}{em^2}$$

oder wenn wir $em = \varrho$ setzen, mit einer Kraft

$$= \frac{g r d\varphi}{\varrho^2}$$

Um die in der Richtung der Axe $ac$ gelegene Componente dieser Kraft zu erhalten, müssen wir mit

$$\cos aef = \cos cme = \frac{r}{\varrho}$$

multipliciren, wodurch wir die in der Richtung der Axe auf $e$ ausgeübte Kraft

$$\frac{g r^2 d\varphi}{\varrho^3}$$

erhalten.

Damit wir nun die Wirkung des ganzen Kreisstromes bekommen, müssen wir von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 2\pi$ integriren und haben so

$$\int_0^{2\pi} \frac{g r^2 d\varphi}{\varrho^3} = \frac{2\pi r^2 g}{\varrho^3}$$

Setzt man $ce = u$, so ist

$$\varrho^3 = (r^2 + u^2)^{\frac{3}{2}}$$

und dadurch unser Integral, d. h. die Wirkung des Kreisstromes auf $c$ in der Richtung der Axe $ac$

$$= \frac{2\pi r^2 g}{(r^2 + u^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Im Mittelpuncte $c$ des Kreisstromes ist $u = 0$ und wir haben für diesen Fall den Ausdruck

$$= \frac{2\pi g}{r}$$

als die Wirkung des Kreisstromes auf ein in seinem Mittelpuncte gelegenes magnetisches Theilchen.

4) Es sei nun das eben betrachtete magnetische Theilchen [1]) der eine der beiden Pole einer Magnetnadel, welche sich im Puncte $e$ oder im Mittelpuncte $c$ des Kreisstromes $bdnm$ befindet, und wir wollen annehmen, dass dieser Kreisstrom selbst in die Ebene des magnetischen Meridianes falle. Es wird dann der Kreisstrom auf die beiden Pole mit Kräften wirken, deren Richtungen gegen die Ebene des magnetischen Meridianes (und auch des in dieser Ebene gelegenen Kreisstromes) senkrecht stehen. Bezeichnet nun in Fig. 2 Tafel X die Linie $ns$ die Lage der Magnetnadel im magnetischen Meridiane, die Linie $n's'$ ihre Lage nach der Ablenkung durch den Kreisstrom, so wirkt jetzt auf die Magnetnadel ausser der Stromkraft, deren Stärke durch $n'p$ dargestellt sein möge, noch der Erdmagnetismus in einer zum magnetischen Meridiane parallelen Richtung mit einer Stärke, welche wir durch die Linie $n'm$ darstellen wollen. Ist die Nadel nach der Ablenkung in Ruhe, so müssen die durch die beiden Kräfte auf dieselbe ausgeübten Drehungsmomente einander gleich sein. Zerlegen wir jede der beiden Kräfte in zwei Seitenkräfte $n'e$ und $n'd$, sowie $n'g$ und $n'f$, wovon $n'e$ und $n'g$ in die verlängerte Richtung $on'$ der Nadel fallen, so werden diese beiden letzteren Componenten keine Drehung der Magnetnadel bewirken und es wird dieselbe in Ruhe sein, sobald

$$n'd = n'f$$

ist. Nun ist aber

$$n'd = n'p.\ \cos dn'p = n'p.\ \cos n'on$$
$$n'f = n'm \sin n'mf = n'm \sin n'on$$

der Winkel $n'on$ ist der Ablenkungswinkel, den wir mit $\alpha$ bezeichnen

---

1) Wiedemann, Galvanismus II. 1. p. 154.

wollen. Bezeichnen wir ferner die Kraft $n'd$ mit $S$, die Kraft $n'f$ mit $T$, so haben wir

$$S \cos \alpha = T \sin \alpha$$
$$S = T . \operatorname{tang} \alpha$$

Die Intensität des Stromes ist also der Tangente des Ablenkungswinkels proportional.

Dieser Satz liegt der sogenannten Tangentenbussole zu Grunde und wir haben nur noch eine Annahme hinzuzufügen, die wir uns stillschweigend erlaubt haben, dass nämlich die durch den Kreisstrom hervorgebrachte Kraft $n'p$ ihre Richtung und Stärke bei dieser Ablenkung wegen der Kleinheit der Nadel nicht ändert, dass sie also stets senkrecht gegen die Ebene des magnetischen Meridianes wirkt.

5) Wir wollen hier sogleich einen anderen Fall betrachten, bei welchem der Kreisstrom, der sich ursprünglich im magnetischen Meridiane befand, gedreht wird, und zwar so lange, bis er, nachdem der Strom durch ihn hindurchgeleitet ist, mit der Ebene der abgelenkten Nadel zusammenfällt.

Es sei nun in Fig. 3 Taf. X $ns$ die Lage der Nadel im magnetischen Meridiane, $n's'$ ihre Lage nach der Ablenkung durch den in ihre Ebene nachgedrehten Kreisstrom, so wirkt die ablenkende Kraft des Stromes stets senkrecht gegen die Nadel, wie gross auch der Ablenkungswinkel $\alpha$ sein mag. Ausserdem wirkt aber noch der Erdmagnetismus parallel zum magnetischen Meridiane mit einer Stärke auf die Nadel, die wir durch die Linie $n'm$ darstellen wollen. Zerlegen wir diese Kraft in die Seitenkräfte $n'f$ und $n'g$, wo $n'g$ in die verlängerte Richtung der Nadel fällt, also keine Drehung auf dieselbe ausübt, so muss für die Ruhelage

$$n'd = n'f = n'm \sin \alpha$$

sein, oder wenn wir $n'd$ mit $S$ und $n'm$ mit $T$ bezeichnen

$$S = T \sin \alpha$$

Die Intensität des Stromes ist also für diesen Fall dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional.

Es findet dieser Satz bei der sogenannten Sinusbussole seine practische Anwendung.

6) Will man allgemein die Wirkung eines Stromelementes auf einen gegebenen Punct mathematischer Behandlung unterwerfen,[1]) so

1) Lamont, Handbuch des Magnetismus in Karsten's Encyclopädie der Physik XV. p. 80.

lässt sich dies am einfachsten durch Einführung rechtwinkeliger Coordinaten erreichen.

Es seien diese für den positiven Pol des Stromeelementes

$$x, y, z,$$

für den negativen Pol desselben

$$x + dx, y + dy, z + dz,$$

für den Punct, auf welchen das Strómelement wirkt,

$$x', y', z',$$

es sei ferner $ds$ die Verbindungslinie des positiven und negativen Poles (die Länge) des Stromelementes, so hat man

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}.$$

Es sei $gds$ die Kraft des Stromelementes in der Einheit der Entfernung, so kann man dafür die Kräfte

$$g\,dx,\ g\,dy,\ g\,dz$$

substituiren.

Nennen wir nun $dX$, $dY$, $dZ$ die Kräfte des Stromelementes im Puncte $x', y', z'$ nach den Richtungen der $x, y, z$ Axen, so haben wir:

$$\left.\begin{aligned} dX &= \frac{g}{\varrho^3}\Big[(y-y')\,dz - (z-z')\,dy\Big] \\ dY &= \frac{g}{\varrho^3}\Big[(z-z')\,dx - (x-x')\,dz\Big] \\ dZ &= \frac{g}{\varrho^3}\Big[(x-x')\,dy - (y-y')\,dx\Big] \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

wo $\varrho$ die Entfernung des Punctes $x', y', z'$ von der Mitte des Stromelementes bezeichnet.

7) Will man nun die Kraft bestimmen, welche ein Kreisstrom auf einen ausserhalb der Axe gelegenen Punkt (Fig. 4 Taf. X) nach der Richtung der Axe ausübt, so kann man die eben erhaltenen Ausdrücke (I) anwenden.[1]) Zieht man nämlich $cb$ parallel zu $ep$, setzt man $ec = u$, $ep = s$, $bc = r$, $bcm = \varphi$, $mcn = d\varphi$, nimmt man ferner $ac$ als Axe der $x$, $cb$ als Axe der $z$, so hat man

$$\begin{aligned} x &= o & x' &= u \\ y &= -r\sin\varphi & y' &= o \\ z &= r\cos\varphi & z' &= s \end{aligned}$$

und wenn man diese Werthe in (I) einsetzt, nach einigen einfachen Reductionen

1) Lamont l. c. p. 86.

$$dX = \frac{gr}{\varrho^3}(r - s\cos\varphi)\,d\varphi$$

oder da

$$\varrho = \sqrt{r^2 + u^2 + s^2 - 2rs\cos\varphi}$$

ist, so wird

$$dX = g\,r\,d\varphi \cdot \frac{r - s\cos\varphi}{(r^2 + u^2 + s^2 - 2rs\cos\varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad . \quad . \quad . \quad \text{(II)}$$

Die Integration dieses Ausdruckes kann nur mittelst Reihen ausgeführt werden. Setzt man

$$\frac{rs}{r^2 + u^2 + s^2} = \alpha$$

so wird

$$dX = \frac{g\,r\,d\varphi}{(r^2 + u^2 + s^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{r - s\cos\varphi}{(1 - 2\alpha\cos\varphi)^{\frac{3}{2}}}$$

und das Integral hievon

$$X = \frac{2\pi g r}{(r^2 + u^2 + s^2)^{\frac{3}{2}}}\left[r + \frac{3}{2}\alpha\left(\frac{5}{2}r\alpha - s\right) + \frac{105}{16}\alpha^3\left(\frac{9}{4}r\alpha - s\right) + \frac{3465}{128}\alpha^5\left(\frac{13}{6}r\alpha - s\right) + ..\right] \quad . \quad . \text{(III)}$$

8) Es stehe nun der Kreisstrom vertical und im magnetischen Meridiane, es befinde sich ferner im Mittelpuncte desselben eine freie Magnetnadel; setzt man dann den Halbmesser des Kreises $= r$, die halbe Länge der Nadel $= \lambda$, so hat man in den Ausdrücken (II) und (III) des vorigen Paragraphen $\lambda$ anstatt $s$ zu substituiren und $u = o$ zu setzen, um die Kraft zu erhalten, welche der Strom an einem Pole der Nadel ausübt.[1]) Will man das Drehungsmoment finden, so muss man die Kraft mit $\lambda$ multipliciren, vorausgesetzt dass sich die Magnetnadel an der Ebene des Kreisstromes befindet. Ist dagegen die Nadel um den kleinen Winkel $\psi$ abgelenkt, so wird zwar die Kraft nicht geändert, dieselbe wirkt aber nicht mehr senkrecht auf die Nadel und man muss noch mit $\cos\psi$ multipliciren, um den senkrecht wirkenden Theil zu erhalten. Da aber das Drehungsmoment des Stromes in der Ruhelage der Nadel dem Drehungsmomente des Erdmagnetismus gleich ist, so hat man jetzt

$$2\lambda\mu\,X\sin\psi = 2\lambda\mu\cos\psi\,\frac{2\pi g r}{(r^2 + \lambda^2)^{\frac{3}{2}}}\left\{r - \frac{3}{2}\,\frac{r\lambda^2}{r^2 + \lambda^2} + \frac{15}{4}\,\frac{r^2\lambda^2}{(r^2 + \lambda^2)^2} - ..\right\}$$

1) Cfr. Weber in Resultate des magnetischen Vereins 1840. p. 83. — Lamont l. c. p. 94.

Ist das Verhältniss von $\lambda$ zu $r$ sehr klein, so wird hieraus mit hinreichender Genauigkeit

$$g = X \,.\, \operatorname{tang} \psi \frac{(r^2 + \lambda^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \pi r^2} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{r^2}\right)$$

oder

$$g = X \,.\, \operatorname{tang} \psi \,.\, \frac{r}{2 \pi} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{r^2}\right)^2 \,.\;.\;.\;.\;.\;. \quad \text{(IV)}$$

9) Nach diesen theoretischen Erörterungen wollen wir nun zu der practischen Einrichtung der Galvanometer übergehen, jedoch auch hier im Voraus einige allgemeine Puncte zusammenstellen.

## Die Magnetnadel, ihre Aufhängung und Ablesung.

Betrachten wir zunächst die Magnetnadel, deren Ablenkung uns das Maass für die Stromstärke geben soll. Was die Form derselben betrifft, so wurden bisher rautenförmige, prismatische und cylindrische Nadeln in Anwendung gebracht. Auch kreisförmige Magnete wurden von Wiedemann[1]) und Weber[2]) angewendet; dieselben waren an ihren Flächen hochpolirt und wurden zugleich als Spiegel bei der unten (§ 14) näher betrachteten Spiegelablesung gebraucht.

Aus den Untersuchungen von Lamont[3]) geht hervor, dass die rautenförmige d. h. die flache, von der Mitte aus spitzig zulaufende (Fig. 5 Taf. X) und die flache prismatische Form (Fig. 6 Taf. X) und zwar namentlich die erstere die practisch vortheilhafteste Form ist. Solche Magnete lassen sich auch ungemein leicht aus Uhrfedern herstellen.

Bei den Galvanometern muss man meistens sehr kurze Magnete verwenden. In denjenigen Fällen, wo die Ablesungsweise eine grössere Länge erforderte, hat man diese dann dadurch hergestellt, dass man an die Enden der Nadel feine Fäden von schwarzem Glase ihrer Längsrichtung nach befestigte. Auch senkrecht gegen die Längsrichtung der Nadel hat man zur Ablesung dienende Zeiger aus Glas oder Aluminium angebracht.

Vielfach wurden zwei Nadeln von möglichst gleichem Momente zu einem sogenannten astatischen Systeme verbunden; wir werden die Bedeutung dieser Einrichtung später (§ 22) kennen lernen.

1) Wiedemann, Poggend. Ann. LXXXIX. p. 504.

2) Weber, electrodynamische Maassbestimmungen.

3) Lamont, Poggend. Ann. CXIII. p. 259. Ferner dessen Handbuch des Magnetismus p. 121 ff.

10) Was die Aufhängung der Magnetnadel anbetrifft, so hat man dieselbe entweder auf einer Spitze aufgestellt oder an einem Coronfaden aufgehängt.

Die conischen Spitzen, auf welchen sich die Magnetnadeln bewegen sollen, müssen aus vollkommen hartem Stahle bestehen und fein geschliffen und polirt sein. Die Hütchen bestehen aus Stahl, Achat oder Glas. Im ersteren Falle bilden sie vielfach einen Theil der Nadel selbst, in den übrigen Fällen werden sie meistens mit der Nadel durch eine geeignete Messingfassung verbunden. Dass auch die Hütchen fein ausgeschliffen und polirt sein müssen, wenn eine möglichst leichte Bewegung der Nadel erzielt werden soll, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

Der Drehpunct der Nadel darf dabei nicht mit ihrem Schwerpuncte zusammenfallen, weil sich sonst der Theil, in welchem sich der Nordpol befindet, senken würde; er muss deshalb dem Nordpole etwas näher als dem Südpole liegen. Der Drehpunct soll aber ferner höher als der Schwerpunct liegen, damit nicht durch ganz unbedeutende Umstände Abweichungen von der horizontalen Lage herbeigeführt werden.

11) Weit häufiger wurde in der Neuzeit, wenigstens bei Instrumenten, welche grössere Genauigkeit gewähren sollen, die Aufhängung an einem Coronfaden angewendet.

Bei dieser Aufhängungsweise wird an der Magnetnadel ein Häkchen befestigt (Fig. 6 Taf. X), in welches der Coronfaden mit einer kleinen Schleife eingehängt wird; zweckmässig ist es hiebei, das Häkchen nicht rund, sondern eckig abzubiegen, damit die Schleife des Coronfadens ihre Lage unverändert beibehält.

Bei den für genaue Messungen gebrauchten Galvanometern wird die Spiegelablesung in Anwendung gebracht und dann mit der Magnetnadel *m* (Fig. 2 Taf. V) ein kleiner kreisrunder (oder auch viereckiger) Spiegel *S* auf die in der Figur angezeigte Weise verbunden. Die Einrichtungen, mittelst welcher das andere Ende des Coronfadens befestigt wird, werden wir bei den einzelnen Instrumenten näher kennen lernen.

12) Wollte man eine Magnetnadel, die an einem Coronfaden aufgehängt ist, ohne weiteren Abschluss gegen die äussere Luft gebrauchen, so würden die Bewegungen derselben den Beobachtungen in den meisten Fällen jede Sicherheit benehmen. Man muss vielmehr die Magnetnadel in einen so engen Raum einschliessen als nur immer möglich ist.

Bei den Galvanoskopen stellt man aus diesem Grunde gewöhnlich über den ganzen Apparat eine gut schliessende Glasglocke. Bei den genauen Galvanometern dagegen hat man die Magnetnadel in einen noch weit engeren Raum abgeschlossen und den Coronfaden in einem Glas- oder Messingrohre in die Höhe geführt. In Bezug auf die verschiedenen zu diesem Behufe getroffenen Einrichtungen müssen wir wieder auf die später folgende Betrachtung der einzelnen Instrumente verweisen.

13) Zur Ablesung des Standes der Magnetnadel hat man bisher sowohl Kreistheilungen als geradlinige Theilungen in Anwendung gebracht. Die letzteren sind immer mit der sogenannten Spiegelablesung verbunden.

Die Kreistheilungen sind gewöhnlich auf Messing- oder Kupferplatten oder auch auf Bein gravirt. Zur Vermeidung der Parallaxe wäre es zweckmässig, dieselben auf der Vorderfläche eines belegten Glasspiegels mit Diamant einzureissen, wie dies Meyerstein bei den von ihm verfertigten Inclinatorien gethan hat.

Um bei den Kreistheilungen den Fehler der excentrischen Lage der Nadel zu vermeiden, ist es zweckmässig, den Stand an den beiden Enden der Nadel abzulesen, da dann, wenn man das Mittel aus den so erhaltenen Ablesungen nimmt, der Excentricitätsfehler hinwegfällt.

14) Die bereits mehrfach erwähnte Spiegelablesung besteht darin, dass man mit dem Magnet einen kleinen Spiegel $K$ (Fig. 7 Taf. X) verbindet und in einiger Entfernung davon ein Fernrohr $F$ aufstellt, in dessen Focus sich ein verticaler Faden befindet. Ueber dem Fernrohre ist eine Scala $SS'$ aufgestellt und es ist klar, dass durch jede Aenderung der Lage des Magneten ein anderer Theilstrich der Scala über den Faden im Fernrohre zu liegen kommt. Am zweckmässigsten ist es, die Scala senkrecht gegen die optische Axe des Fernrohres zu stellen.

15) Es gestalten sich dann die Verhältnisse ganz einfach. Es stelle nämlich in Fig. 8 Taf. X, auf den Horizont projicirt, $S$ den Spiegel, $F$ das Fernrohr und $AB$ die senkrecht gegen die optische Axe des Fernrohres stehende Scala dar. Hat der Spiegel die Lage $S$ d. h. steht seine Ebene senkrecht gegen die optische Axe, so fällt der Punct $a$ auf den Faden; es sei die zugehörige Ablesung der Scala $N$ (der sogenannte Nullpunct der Scala). Wird der Spiegel durch den Magnet um den Winkel $\alpha$ abgelenkt, so dass er in die Lage $S'$ kommt,

so wird der Punct $c$ der Scala, dessen Ablesung $n$ sein möge, den Faden decken. Ist $mb$ das Einfallsloth, so haben wir

$$\angle amb = \angle bmc = \alpha$$

also

$$\angle amc = 2\alpha$$

und

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{n - N}{e}$$

wo $e = ma$ die Entfernung der Scala vom Spiegel bezeichnet.

Da mit der Spiegelablesung immer sehr kleine Winkel gemessen werden, so kann man den Bogen statt der Tangente setzen und erhält dadurch

$$\alpha = \frac{n - N}{2e}$$

Der Fehler, welchen man durch Vertauschen der Tangente mit dem Bogen begeht, wird bei einem Winkel $\alpha$ von $2^0$ erst $0',3$ betragen.

Will man $\alpha$ in Winkelmaass z. B. Minuten oder Secunden ausdrücken, so muss man setzen

$$\alpha = \frac{n - N}{2e \sin 1'}$$

oder beziehungsweise

$$\alpha = \frac{n - N}{2e \sin 1''}$$

16) Bei der Spiegelablesung geht der Strahl bei seinem Wege von der Scala zu der spiegelnden Fläche und von da in das Fernrohr gewöhnlich durch Plangläser. Dieser Umstand muss bei der Berechnung des Werthes der Scalentheile in folgender Weise berücksichtigt werden.

Es seien $MN$ und $PR$ (Fig. 9 Taf. X) die beiden parallelen Flächen des Planglases und es treffe der Strahl $dc$ unter dem Winkel $dca = \alpha$ auf die Fläche $MN$, so wird der Strahl gebrochen in der Richtung $ce$ und zwar so, dass

$$\sin ecb = \frac{2}{3} \sin \alpha$$

oder für kleine Winkel

$$ecb = \frac{2}{3} \alpha$$

ist. Im Austrittspuncte $e$ wird der Strahl wieder gebrochen und seine Richtung $eg$ ist zwar der ursprünglichen Richtung $cd$ parallel; doch hat eine Verschiebung statt, welche gleich ist

$$\begin{aligned} ef &= fl - el \\ &= cl \,.\, \operatorname{tg} bcf - cl \,.\, \operatorname{tg} ecb \end{aligned}$$

Sind die Winkel sehr klein, so kann man die Bögen für die Tangenten setzen und hat so, wenn man noch die Dicke $cl$ des Glases mit $\delta$ bezeichnet

$$ef = \delta\,(\alpha - \frac{2}{3}\,\alpha)$$

$$= \frac{1}{3}\,\alpha$$

Man hat also bei der Berechnung des Werthes der Theilstriche die Entfernung der spiegelnden Fläche von der Scala um ein Drittel der Dicke der durchlaufenen Planparallelgläser zu vermindern.

Hiebei ist vorausgesetzt, dass die Fläche $MN$ parallel zu $PR$ sei. Hat dies nicht statt, so muss eine weitere Correction angebracht werden, welche wir hier übergehen, da sich für die Praxis hinlänglich genaue Planparallelgläser herstellen lassen.

17) Gewöhnlich wurden bei der Spiegelablesung auf Holz aufgezogene Papierscalen angewendet. Lamont hat dagegen die sehr zweckmässigen Glasscalen eingeführt, bei welchen die Theilung mit Porcellanfarbe aufgetragen und eingebrannt ist. In diesem Falle muss hinter der Scala noch ein Spiegel, der sogenannte Beleuchtungsspiegel, aufgestellt werden, wie dies aus Fig. 38 Taf. XII zu ersehen ist.

Die Spiegelablesung wird übrigens nur für die Bestimmung kleiner Ablenkungswinkel (höchstens bis zu $5^0$) angewendet. Sie wird, wenn man Glasscalen gebraucht, häufig mit dem Galvanometer selbst verbunden, wie dies bei den Lamont'schen Galvanometern und bei der von mir dem Wiedemann'schen Galvanometer gegebenen Einrichtung der Fall ist.

18) Ich habe übrigens in jüngster Zeit auch eigene Ablesevorrichtungen für Spiegel-Instrumente verfertigt, welche Fig. 38 Taf. XII darstellt und wobei man den Vortheil hat, dass sich dieselbe Ablesevorrichtung für mehrere Spiegelinstrumente, wenn sie nicht gleichzeitig gebraucht werden, in Anwendung bringen lässt.

In einem messingenen Dreifusse, der mit Stellschrauben versehen ist, ist eine Axe drehbar, welche mittelst der Klemmschraube in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Auf die Axe ist eine Messingplatte aufgesetzt, welche das Fernrohr $F$, die Scalenhalter $AA$ und den Beleuchtungsspiegel $S$ trägt. An den Scalenhaltern sind federnde Messingstreifen $m, m'$ befestigt, durch welche die in Millimeter getheilte Glasscala festgehalten wird. Der Beleuchtungsspiegel lässt eine doppelte

Axenbewegung und ein Höher- oder Niedrigerstellen an der Messingsäule $T$ zu. Die Lagerträger für das Fernrohr können um den Punct $v$ gedreht und so die optische Axe desselben senkrecht gegen die Scala gestellt werden. Ausserdem kann mittelst der Schraube $M$ das Fernrohr höher oder niedriger gestellt (um seine Axe etwas gedreht) werden.

Will man mehrere Spiegelinstrumente zugleich von einem Puncte aus ablesen, so kann man die Ablesevorrichtung anwenden, wie sie Lamont bei seinen magnetischen Variationsinstrumenten gebraucht und worüber im IV. Supplementbande der Annalen der Münchener Sternwarte das Nähere nachgesehen werden kann.

## Die Stromleitung.

19) Für die Stromleitung wird bei den meisten galvanometrischen Instrumenten mit Seide oder Wolle übersponnener Kupferdraht, welcher überdies noch mit einer isolirenden Firnissschicht überzogen wird, angewendet.

Blos bei der Tangenten- und Sinus-Bussole hat man vielfach kreisförmige Ringe aus einem starken Kupferstreifen oder dickem Kupferdrahte gebraucht.

Wendet man übersponnenen Kupferdraht an, so wird derselbe auf einen geeigneten Rahmen aufgewunden; dieser Rahmen besteht aus Holz oder Messing und hat bisher eine ovale oder kreisförmige Gestalt erhalten.

Aus der in § 2 angeführten Ampère'schen Regel ergibt sich unmittelbar, dass, wenn man einen den Strom leitenden Kupferdraht in mehreren von einander isolirten Windungen um die Magnetnadel herumführt, jede einzelne Windung die gleiche Wirkung auf die Nadel ausüben wird. Man kann also auf diese Weise die Einwirkung des Stromes vervielfältigen. Der Erste, welcher diese Multiplication des Stromes anwandte, war Schweigger, welcher bereits im November 1820 den ersten Multiplicator vor der naturforschenden Gesellschaft zu Halle vorzeigte.[1])

20) Die Anzahl von Windungen, welche auf den Multiplicatorrahmen aufgewunden wird, ist sehr verschieden und richtet sich je

1) Allgemeine Literaturzeitung 1820. November. p. 622.

nach dem Bedürfnisse. Die folgende von v. Feilitzsch gegebene[1]) Betrachtung kann in dieser Hinsicht Anhaltspuncte bieten.

Wir wollen die electromotorische Kraft der verwendeten galvanischen Kette mit $E$, den Widerstand derselben mit $W$ bezeichnen. Wir wollen ferner voraussetzen, dass die Dicke der Drahtmasse des Multiplicatordrahtes nicht grösser genommen werde als dass die äusseren Windungen die gleiche Wirkung wie die inneren ausüben.

Es sei nun die Wirkung einer Windung $\mu$, die Stromstärke $S$ und die Anzahl der Windungen $x$, so ist offenbar die Gesammtwirkung aller Windungen

$$= \mu x S \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(I)}$$

Der Querschnitt der Gesammtrolle sei $a$, der Querschnitt des verwendeten Drahtes $q$ Flächeneinheiten, so ist bei Vernachlässigung der beim Aufwinden des Drahtes entstehenden Zwischenräume

$$x = \frac{a}{q} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(II)}$$

Nach dem Ohm'schen Gesetze ist aber

$$S = \frac{E}{W + W_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(III)}$$

wo $W_1$ den Widerstand im Galvanometer bezeichnet. Dieser Widerstand ist einmal proportional dem Widerstande des verwendeten Drahtmateriales, den wir mit $w$ bezeichnen wollen; er ist proportional der Anzahl der Windungen $x$, und er ist umgekehrt proportional dem Querschnitte des Drahtes $q$, also

$$W_1 = \frac{w x}{q}$$

oder mit (II)

$$W_1 = \frac{w \,.\, a}{q^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(IV)}$$

Setzen wir diesen Werth von $W_1$ in (III) ein, so wird

$$S = \frac{E}{W + \frac{w a}{q^2}}$$

oder nun nach (I) die Gesammtwirkung des Multiplicatordrahtes

$$\mu x E \,.\, \frac{q^2}{W q^2 + w a}$$

oder mit (II)

$$\mu a E \, \frac{q}{W q^2 + w a}$$

---

1) Dessen Lehre von den Fernwirkungen des galv. Stromes. In Karsten's Encyclopädie. XIX. Band. p. 20.

Differentiren wir diesen Ausdruck nach $q$, so muss für den Fall des Maximums der Wirkung der erhaltene Differentialquotient = 0 sein, also

$$\mu a E \cdot \frac{w a - W q^2}{(W q^2 + w a)^2} = 0$$

Diese Bedingung wird erfüllt, wenn

$$w a = W q^2$$

$$W = \frac{w a}{q^2}$$

oder mit (IV)

$$W = W_1$$

ist. Man erhält also die grösste Wirkung, wenn man die Dicke des Drahtes so wählt, dass er bei der begrenzten Gesammtdrahtmasse einen Widerstand ausübt, welcher dem durch die übrigen in dem Schliessungskreise befindlichen Glieder ausgeübten Widerstande gleich ist.

21) Nach diesem Satze hätte man, wenn man die grösstmögliche Wirkung erhalten will, strenggenommen für jeden besonderen Fall ein eigenes Instrument nöthig. So viel geht jedenfalls aus den Betrachtungen des vorigen Paragraphen hervor, dass für verschiedene Arten von Bestimmungen besondere Galvanometer erforderlich sind. So muss man für Thermoströme wenige Windungen eines dicken Drahtes, für physiologische Zwecke sehr viele Windungen eines ganz dünnen Drahtes verwenden. Ich habe aus diesem Grunde dem im ersten Hefte des Repertoriums beschriebenen Galvanometer immer, je nach dem Bedürfnisse, mehrere Multiplicatorrollen beigegeben, welche an dem gleichen Instrumente gebraucht werden können.

## Die Dämpfung.

22) Die Schwingungen einer Magnetnadel nehmen, wenn dieselbe frei in der Luft schwebt, nur langsam ab. Lässt man aber die Magnetnadel über einer Kupferscheibe oder an einem massiven kupfernen Ringe schwingen, so hören die Schwingungen viel rascher auf. Diesen Umstand hat man bei den Galvanometern zur sogenannten Dämpfung angewendet.

Steht der Multiplicatorrahmen an dem Galvanometer fest, so kann man diesen selbst aus starkem Messing oder Kupfer verfertigen und auf diese Weise zugleich als Dämpfer benützen. Sind dagegen, wie z. B. beim Wiedemann'schen Galvanometer, die Multiplicator-

rollen verschiebbar, so bringt man einen starken Kupferring so an, dass die Magnetnadel in seiner Mitte sich befindet.

Bei den gewöhnlichen Multiplicatoren, welche hölzerne Rahmen für die Drahtwindungen haben, trägt man die Theilung auf einer starken Kupferscheibe auf und benützt diese zur Dämpfung.

## Mittel zur Verminderung der Directionskraft der Magnetnadel.

23) Es wurde bereits im Eingange bemerkt, dass man bei jeder galvanometrischen Messung den Winkel beobachtet, um welchen eine freie Magnetnadel durch die Kraft des Stromes aus ihrer natürlichen Lage abgelenkt wird. Gibt man dabei der Nadel eine sehr geringe Directionskraft, so wird die Wirkung beträchtlich vergrössert.

Man hat eigene Hilfsmittel angewendet, um die Directionskraft der Nadel zu vermindern. Das bekannteste dieser Hilfsmittel, welches im Jahre 1825 von Nobili eingeführt[1]) wurde, besteht darin, dass man zwei Magnetnadeln von möglichst gleichem magnetischen Momente zu einem sogenannten astatischen Systeme in der durch Fig. 10 Taf. X angezeigten Weise mit einander verbindet. Dieses System bringt man dann so an, dass die obere Nadel über den Drahtwindungen, die untere in deren Mitte sich befindet. Auf solche Weise werden sich die Wirkungen des Erdmagnetismus auf die beiden Nadeln subtrahiren, während zugleich die Drehungsmomente sich summiren werden.

Die Directionskraft lässt sich[2]) ferner dadurch vermindern, dass man in der Verlängerung der Nadel $ns$ (Fig. 11) einen Magnetstab $NS$, dessen Pole denen der freien Nadel entgegengesetzt liegen, in geeigneter Entfernung anbringt. Auch auf beiden Seiten von der freien Nadel kann man in deren Verlängerung zu gleichem Zwecke zwei Magnetstäbe $NS$ und $N'S'$ anbringen, wie es Fig. 12 zeigt.

Ein weiteres Hilfsmittel, die Directionskraft der Nadel zu vermindern, besteht noch darin, dass man (Fig. 13) unter dieselbe parallel mit ihrer Richtung einen Magnetstab so anbringt, dass die gleichnamigen Pole desselben und der Nadel einander zunächst liegen.

## Aufstellung der Galvanometer.

24) Die Galvanometer sind gewöhnlich wie alle Instrumente, bei welchen irgend ein Theil eine bestimmte Lage erhalten muss, auf

1) Schweigger's Journal XLV. p. 249.
2) Lamont, Handbuch des Magnetismus. p. 185.

einem Fusse aufgestellt, welcher drei Stellschrauben besitzt. Mittelst dieser Stellschrauben kann die Magnetnadel in die richtige Lage gebracht werden. Der Fuss muss immer fest und solid gebaut sein, wenn das Instrument überhaupt die nöthige Standfestigkeit erhalten soll.

Die Galvanometernadel muss dann auch im magnetischen Meridiane sich befinden. Bei Galvanometern für physikalische Laboratorien lässt sich die richtige Aufstellung in dieser Hinsicht ein für allemal leicht herstellen, vorausgesetzt dass man über hinreichend grossen Raum zu verfügen hat, um das Instrument beständig an dem gleichen Platze lassen zu können. Da dies aber selten der Fall ist, so soll das Galvanometer so eingerichtet sein, dass die Einstellung möglichst rasch und sicher bewerkstelligt werden kann. Es ist deshalb zweckmässig, die Einrichtung zu treffen, dass das ganze Instrument, nachdem die Nadel bereits frei schwingt, noch um eine verticale Axe gedreht werden kann, mit deren Büchse der Dreifuss mit den Stellschrauben verbunden ist. Ueber die Art und Weise, wie ich dies beim Wiedemann'schen Galvanometer bewerkstelligt habe, kann pag. 17 des laufenden Bandes des Repertoriums (Heft 1) verglichen werden.

Die für genaue Messungen gebrauchten Galvanometer sollten immer einen sehr festen Standort haben und es gelten deshalb für ihre Aufstellung im Laboratorium die gleichen Regeln, welche für alle präcisen Instrumente eingehalten werden müssen. Wir gedenken diesen Regeln einen eigenen Aufsatz in unserem Repertorium zu widmen.

## Die einzelnen galvanometrischen Instrumente.

25) Gehen wir nun zur Betrachtung der einzelnen bisher ausgeführten galvanometrischen Instrumente über, so haben wir zwei Classen derselben zu trennen:

1) solche Apparate, mit welchen blos qualitative Bestimmungen erhalten werden sollen — Galvanoskope;
2) die eigentlichen Messinstrumente — Galvanometer.

## Die Galvanoskope.

26) Den Galvanoskopen ist je nach dem Bedürfnisse die verschiedenartigste Einrichtung gegeben worden und wir wollen hier blos einige der gebräuchlichsten Apparate erwähnen.

Das in Fig. 14 Taf. X dargestellte Galvanoskop ist wohl der möglichst einfache Apparat dieser Art. Um die auf einer Spitze beweg-

liche Magnetnadel ist ein Kupferstreifen auf die aus der Figur ersichtliche Weise herumgeleitet. Da der Apparat nicht einmal eine Gradeintheilung besitzt, so lässt sich derselbe blos zum Nachweis des Vorhandenseins und der Richtung eines galvanischen Stromes verwenden.

Man hat auch diesen Apparat in eine Dose von Holz oder Messing, die mit einem Glase verschlossen ist, gesetzt und dabei auf dem Boden derselben eine Kreistheilung angebracht. Dabei wird dann gewöhnlich anstatt des Kupferstreifens ein starker Kupferdraht verwendet und auf jeder Seite der Nadel eine Windung angebracht — Bussolengalvanoskop.

Weit mehr Anforderungen genügt schon das in Fig. 15 abgebildete Galvanoskop, bei welchem um die Nadel herum auf einem Holzrahmen der Draht in vielen Windungen aufgewunden ist und in die Klemmen *A*, *B* ausläuft. Senkrecht gegen die Magnetnadel ist mit derselben ein Zeiger *a* fest verbunden, dessen Stand an der darunter befindlichen Theilung abgelesen werden kann. Solche Galvanoskope werden namentlich für den Telegraphenbetrieb verwendet.

27) Die gleiche Verwendung[1]) finden auch die sogenannten Vertical-Galvanoskope, von denen Figg. 16. 17. 18 eine besondere Einrichtung darstellt.

Auf einem Holzrahmen *bb'* (Fig. 16) sind 2 mal 300 Windungen eines $\frac{1}{8}$ Linien dicken übersponnenen Kupferdrahtes aufgewunden, dessen Enden zu den Klemmen *h*, *h'* (Fig. 18) führen. Die beiden Klemmen können mittelst des Stöpsels *d* mit einander verbunden und so der Apparat aus dem Schliessungskreise ausgeschaltet werden.

Die Magnetnadel *a* (Fig. 17) ist um eine horizontale Axe drehbar, an welcher zugleich der Zeiger *a'* parallel damit angebracht ist; das untere Ende der Nadel trägt ein kleines Kupferschieberchen *l*, welches dazu dient, die Nadel vertical zu stellen. Hinter der Nadel befindet sich an einer Feder *f* eine Gabel; soll das Instrument transportirt werden, so schraubt man mittelst der Schraube *s* die Gabel vor und hat so die Bewegung der Nadel arretirt. Das ganze Nadelgestell (Fig. 17) lässt sich von hinten zwischen die Drahtwindungen einschieben, wobei dann der Zeiger *a'* durch einen Schlitz vor die Kreistheilung (Fig. 18) tritt. Mittelst der kleinen Vorrichtung *m* wird das Nadelgestell mit dem Apparate fest verbunden. Oben am Instrumente ist

---

1) Schellen, der electromagnetische Telegraph. p. 59.

ein Knopf *k* angebracht, an welchem ein kleiner Magnet *c* (Fig. 16) im Innern des Gehäuses befestigt ist, der den Zweck hat, die Nadel in der Ruhelage auf den Nullpunct der Theilung einzustellen.

28) Hängt man in einem geeigneten Rahmen, auf welchem mehr oder weniger viele Drahtwindungen sich befinden, ein astatisches Nadelsystem an einem Coconfaden auf, so lässt sich ein sehr empfindliches Galvanoskop herstellen, welches man gewöhnlich einen Multiplicator nennt.

Einen ganz einfachen Apparat der Art zeigt Fig. 19, welcher schon aus der Figur deutlich ist und wozu nur zu bemerken wäre, dass mittelst der Schraube *s* die Höhe des astatischen Systemes regulirt werden kann.

Wesentlich verbessert sind die durch Figg. 20 und 21 dargestellten Einrichtungen des Multiplicators, welche gleichfalls nach den bisherigen Betrachtungen leicht aus den Figuren verständlich und so eingerichtet sind, dass der ganze Multiplicator gegen sein eigentliches Fussgestell in horizontalem Sinne gedreht werden kann. Wir wollen nur noch die Aufhängungsvorrichtung für das obere Ende des Coconfadens betrachten, welche durch die Figg. 22 und 23 dargestellt ist. Der unten mit einem Häkchen zum Befestigen des Cocons versehene Stift läuft oben in ein Schraubengewinde aus, welches sich in einer kugelförmigen randrirten Mutter bewegen lässt, die im Kopfe des ganzen Apparates gedreht werden kann und so ein Verstellen der Höhe des astatischen Systemes ermöglicht.

Man hat vielfach nach dem Vorgange von Becquerel auf den Multiplicatorrahmen zwei gleich lange Drähte zu Doppelwindungen aufgewunden und, damit keine Verwechselung möglich ist, dabei die Enden beider Drähte durch verschiedene Farben bezeichnet. Ein derartig eingerichteter Apparat wird dann ein Differentialgalvanometer genannt.

29) Die gewöhnliche Form des Rahmens für die Drahtwindungen ist die durch Fig. 24 Taf. XI dargestellte. Derselbe besteht aus zwei parallelen hölzernen oder messingenen Platten *A*, welche durch Querleisten *ab* verbunden sind und in denen seitliche Einschnitte sich befinden. Auf die Querleisten *ab* sind verticale Stäbchen *cd* aufgesetzt. Zwischen diese und die Platten *A* wird der Draht aufgewunden und in der Mitte das astatische System eingesenkt, so dass die obere Nadel über den Windungen, die untere im Durchschnitte *aa* sich bewegt.

Mohr hat[1]) zwei hievon verschiedene Formen des Multiplicatorrahmens vorgeschlagen. Er bringt nämlich in die Mitte zwischen den beiden Seitenplatten eine flache kreisrunde oder kugelförmige Dose zur Aufnahme der unteren Nadel und setzt diese durch cylindrische Zapfen mit den beiden Seitenplatten in Verbindung. Diese Einrichtung hat den Vortheil, dass die Windungen der Nadel verhältnissmässig näher zu liegen kommen und bei der gleichen Drahtlänge mehr Windungen auf den Rahmen gebracht werden können.

## Die Galvanometer.

30) Wir kommen nun zur Behandlung der eigentlichen Galvanometer. Da wir uns mit der allgemeinen Theorie derselben bereits im Eingange beschäftiget haben, so soll im Folgenden vorzüglich ihre technische Ausführung berücksichtigt werden. Es muss übrigens sogleich bemerkt werden, dass diese Instrumente von den verschiedenen Mechanikern im Detail häufig ganz verschieden ausgeführt wurden, ohne dass ein wesentlicher Punct dabei eine Aenderung erfahren hätte. Es würde hier ebenso wie bei den Galvanoskopen offenbar zu weit führen, alle diese verschiedenen constructiven Einrichtungen näher zu besprechen, und wir begnügen uns, diejenigen von den uns bekannt gewordenen Ausführungen der einzelnen Instrumente zusammenzustellen, welche sich namentlich auch in der Praxis bewährt haben.

### 1) Die Tangentenbussole.

31) Bereits in § 4 haben wir den Satz entwickelt, auf welchem das Wesen der Tangentenbussole beruht. Dieselbe besteht in der practischen Ausführung aus einem starken kupfernen Ringe von wenigstens 1 Fuss Durchmesser, in dessen Mittel sich die Magnetnadel befindet, welche in einer Dose, in der zugleich die Kreistheilung angebracht ist, vor den Luftbewegungen abgeschlossen wird. Der Ring muss vertical stehen und um die durch seinen Mittelpunct gehende Verticale gedreht werden können, damit er vor der Messung in die Ebene des magnetischen Meridianes eingestellt werden kann, ohne dass der Fuss des Instrumentes verstellt werden muss. Die Länge der Magnetnadel darf im höchsten Falle ein Viertel des Ringdurchmessers

1) Poggendorff's Annalen. Bd. 99. p. 102 ff.

betragen[1]); gewöhnlich nimmt man dieselbe viel kürzer und verlängert sie durch aufgekittete schwarze Glasfäden. Zweckmässig ist es auch, mit der Mitte der Nadel senkrecht gegen die Längsrichtung derselben einen Zeiger fest zu verbinden und diesen zum Ablesen an der Kreistheilung zu benützen.

32) Die Fig. 25 zeigt eine sehr zweckmässig ausgeführte Tangentenbussole, welche von Weber[2]) herrührt und nach dem Gesagten ohne Weiteres verständlich ist.

Eine andere Ausführung der Tangentenbussole ist der durch Fig. 26 dargestellte, von Siemens und Halske construirte Apparat. Anstatt eines einzigen Kupferringes sind hiebei vier, wohl von einander isolirte Drahtringe angebracht, welche in die Klemmen *a*, *a'*, *b*, *b'*, *c*, *c'*, *d*, *d'* auslaufen und nach Bedürfniss mit einander verbunden werden können. Der Ring sammt der Bussole lässt sich um eine Axe in der Fussplatte *pp* drehen, um in den magnetischen Meridian eingestellt werden zu können. Die Magnetnadel ist an einem Coconfaden aufgehängt, dessen oberes Ende mit der Welle *m* verbunden ist, vermittelst welcher die Nadel gehoben und gesenkt werden kann. Diese Tangentenbussole wurde namentlich für telegraphische Zwecke verwendet.

33) Helmholtz[3]) und Gaugain[4]) haben eine Tangentenbussole construirt, bei welcher die Nadel nicht im Mittelpuncte des Kreisstromes liegt, sondern in einer gegen die Ebene desselben senkrechten Richtung um die Hälfte des Halbmessers verschoben ist. Es sind dann, wie Gaugain auf experimentalem, Bravais[5]) auf theoretischem Wege bewiesen haben, die Tangenten des Ablenkungswinkels den Stromintensitäten proportional. Eine solche Tangentenbussole stellt Fig. 27 dar, Fig. 28 gibt den horizontalen Querschnitt derselben. Es sind dabei mehrere Drahtwindungen auf einen Conus aufgewickelt, dessen Spitze der Mittelpunct der Nadel bildet; nach den Unter-

1) Vergl. Weber in Poggend. Ann. Bd. 55. p. 32.

2) Resultate des magnetischen Vereines 1840. p. 82 ff.

3) Helmholtz hat das Princip dieser Bussole schon in der Sitzung der Berliner physikalischen Gesellschaft vom 16. März 1849 mitgetheilt und zu derselben Zeit einen Apparat nach demselben Principe construirt. Wiedemann, Galvanismus II. 1. p. 19.

4) Compt. rend. de l'Acad. de Paris XLVI. p. 191. — Poggendorff's Annalen 88. p. 443.

5) Annales de chim. et de phys. 3 Ser. 38. p. 301. — Poggendorff's Annalen 88. p. 426.

suchungen von Bravais muss der Winkel *amc* (Fig. 28) gleich 63° 26′ sein. Zweckmässiger ist es[1]), die gleiche Einrichtung auf beiden Seiten der Nadel anzubringen, wie dies Fig. 29 zeigt.

### 2) Die Sinusbussole.

34) Die Sinusbussole beruht auf dem in § 5 entwickelten Satze, dass die Intensität des Stromes dem Sinus des Drehungswinkels proportional ist, wenn man den Kreisstrom, der sich ursprünglich im Meridiane befand, so lange dreht, bis er mit der Ebene der abgelenkten Nadel wieder zusammenfällt.

Die Construction der Sinusbussole unterscheidet sich demnach dadurch von der der Tangentenbussole, dass der Drahtkreis um eine genaue Axe drehbar eingerichtet sein und am Instrumente noch ein getheilter Horizontalkreis sich befinden muss, welcher die Grösse der vollzogenen Drehung genau anzugeben gestattet.

Ein Hauptvorzug der Sinusbussole vor der Tangentenbussole besteht darin, dass die Länge der bei ihr verwendeten Magnetnadel ohne Einfluss auf die Messungen ist.

35) Die gewöhnliche Einrichtung der Sinusbussole, welche von Poggendorff herrührt, ist aus Fig. 30 Taf. XII ersichtlich.

Eine andere Ausführung des Instrumentes, wie es von Siemens und Halske namentlich für Telegraphenzwecke construirt wurde[2]), gibt Fig. 31. Der getheilte Kreis sitzt hiebei auf dem hölzernen, mit drei Stellschrauben versehenen Fusse auf. Innerhalb des Kreises befindet sich die Scheibe *n*, welche den Multiplicatorrahmen trägt. Auf diesem befinden sich doppelte Drahtwindungen, die in die Klemmen 1, 2, 3, 4 auslaufen. Die Magnetnadel spielt auf einer Spitze und trägt senkrecht gegen ihre Längsrichtung einen Zeiger *z*; steht dieser über der auf dem Säulchen *f* befindlichen Marke, so sind die Drahtwindungen parallel zur Magnetnadel. Um diese beim Transporte arretiren zu können, ist eine Klemmvorrichtung angebracht.

36) v. Feilitzsch hat in der Allgemeinen Encyclopädie der Physik[3]) eine nach den Angaben Poggendorff's von Oertling und Kleiner ausgeführte Sinusbussole, welche auf Taf. XII Fig. 32 abgebildet ist, folgendermaassen beschrieben. Auf einem geeigneten

1) Wiedemann's Galvanismus II. 1. p. 197.
2) Schellen, der electromagnetische Telegraph. p. 97.
3) Bd. XLX. p. 68.

Gestelle *a* lässt sich der kreisrunde Tisch *b* durch eine Schraube ohne Ende *c* um seinen Mittelpunct drehen. Eine Wasserwage *d* sichert die horizontale Stellung. Der Umfang des Tisches ist getheilt und bewegt sich an zwei diametral einander gegenüberstehenden festen Nonien *e* vorüber, die eine Genauigkeit von zwei Minuten und unter günstigen Umständen bis zu einer Minute sichern. Auf dem Tische steht ein Rahmen *fg*, welcher die Drahtwindungen trägt und die einfache Magnetnadel umgibt. Der Rahmen ist durch ein Seil von zwei oder vier zusammengedrehten, durch Seidcumspinnung sorgfältig von einander isolirten Kupferdrähten in nur vier Windungen umlegt. Die Enden desselben gehen durch die Axe der Bewegung, münden in *h* und können so mit dem Rheometer verbunden werden, dass sie der Strom entweder einzeln, oder alle gleichzeitig, oder nach einander, oder nach entgegengesetzter Richtung durchläuft. Die Magnetnadel hängt an einem einfachen Coconfaden von dem Gipfel einer Glasröhre herab, welche auf dem das Instrument umgebenden Glasgehäuse steht und mit dem Tische gedreht wird, so dass eine Correction wegen der Torsion des Fadens, sowie wegen der Excentricität von Nadel und Windungen nicht nöthig ist. Zwei durch den Deckel des Glasgehäuses gehende Mikroskope *k* und *l* dienen, die parallele Stellung der Nadel mit den Windungen zu erkennen. Pouillet verwarf die auch von ihm anfangs benutzte Aufhängung der Nadel an einem Faden und liess sie auf einem Stifte schweben, indem er das seitliche Schwanken und eine excentrische Lage derselben gegen die Windungen dadurch vermeiden wollte. Da jedoch eine excentrische Lage der Nadel ohne Bedeutung ist, wenn sie nur in allen Stellungen der Windungen dieselbe bleibt, da ferner durch Aufstellung auf einen Stift die Leichtigkeit der Bewegung leidet, führte Poggendorff die Aufhängung an einem Seidenfaden wieder ein. Das seitliche Schwanken aber vermied er dadurch, dass er an der unteren Seite der Nadel abermals einen Seidenfaden befestigte und an diesen ein Gewicht hing, welches in einer engen Glasröhre, ohne dieselbe zu berühren, schwebt.

Trotz der geringen Zahl von Windungen zeigt das Instrument eine unerwartete Empfindlichkeit, die jedoch daraus erklärlich ist, dass der Strom stets senkrecht gegen die Nadel wirkt. Ja es wird sogar nöthig, bei Messung stärkerer Ströme die Empfindlichkeit zu mindern. Und dieses geschieht dadurch, dass diese Ströme zwei der zusammengewundenen Drähte in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, von denen der eine durch einen eingeschalteten Platindraht von bekanntem

Widerstande verlängert ist. Sollen nun zwei Ströme mit einander verglichen werden, deren Umfang die Scala des Instrumentes überschreiten, so wird der stärkere mit der Differenz, der schwächere mit der Summe der Zweigwirkungen gemessen und das gefundene Verhältniss mit dem Verhältnisse zwischen jener Summe und Differenz multiplicirt. So ist es möglich, Stromstärken zu messen, die im Verhältnisse 1 : 10000 stehen, vorausgesetzt, dass man mit einem einzelnen Drahte 100 Stromstärken unterscheiden kann, und das Verhältniss zwischen Summen und Differenz der Zweigwirkungen ebenfalls 100 : 1 sei.

37) Breguet[1]) hat der Sinusbussole die durch Fig. 33 Taf. XII dargestellte Einrichtung gegeben. Der auf vier Klemmschrauben *V* stehende Sockel *S* trägt in seiner Mitte eine kupferne Axe *H*, auf der ein in halbe Grade getheilter horizontaler Kreis *O*, der Multiplicatorrahmen *C* und ein Fernrohr sich befindet, das auf die an der kleinen Säule *x* befindliche Marke eingestellt ist. Mit dem Fernrohrträger ist ein Arm verbunden, an dem mittelst eines Coconfadens eine Magnetnadel und ein sehr leichter Zeiger *i* (von Glas oder Aluminium) aufgehängt ist.

Die Axe *H* trägt ausserdem unter dem hölzernen Fussbrette *S* ein gezahntes Rad, in welches eine Schraube ohne Ende eingreift, die mittelst der Curbel *M* in Bewegung gesetzt wird; man kann auf solche Weise den Multiplicatorrahmen *C* um seine Axe drehen.

Die feste Säule *K* trägt einen Vernier, der noch eine Minute abzulesen gestattet. Die Drähte des Multiplicatorrahmens *C* laufen in die Klemmen *b* aus, welche mit den Klemmen *B* ausserhalb des Glassturzes leitend verbunden sind. Mittelst letzterer wird die Bussole in den Schliessungskreis eingeschaltet.

## Die Sinus-Tangentenbussole von Siemens und Halske.

38) Siemens und Halske haben[2]) für telegraphische Zwecke ein galvanometrisches Instrument construirt, welches zugleich als Sinus-, sowie als Tangenten-Bussole benützt werden kann und in Fig. 34 Taf. XII abgebildet ist. Der als Multiplicatorrahmen dienende kreisförmige Ring *R* ist in eine kreisrunde Messingplatte *P* eingesetzt, welche in den Fuss *Q*, *Q*, der den getheilten Kreis *T* trägt, conisch

---

1) Brequet, Manuel de Télégraphie électrique. 4[me] édition. p. 48.
2) Wiedemann's Galvanismus II. 1. p. 207. — Schellen, der electromagnetische Telegraph. pag. 99.

eingedreht ist und in demselben mittelst der Elfenbeinknöpfe *h* gedreht werden kann. Mit der Platte *P* ist die Bussolendose *M* verbunden, welche in ihrem Innern gleichfalls eine Kreistheilung besitzt.

Der auf dem ringförmigen Rahmen *R* aufgewickelte Draht besteht einmal aus 16 Windungen eines $1^{mm}$,339 dicken Drahtes; welcher in die Klemmen $k^{I}$ und $k^{IV}$ ausläuft; ausserdem sind 1050 Windungen eines $0^{mm}$,25 dicken Drahtes auf den Rahmen *R* aufgewickelt, der in die Klemmen $k^{II}$ und $k^{III}$ endigt.

Durch Heben und Senken eines Knopfes *u* können in der Bussolendose auf beiden Seiten der Magnetnadel zwei Stiften gehoben und gesenkt werden, welche grössere Schwingungen derselben verhindern sollen.

Dem Apparate sind nun zwei verschiedene Magnetnadeln beigegeben. Fig. 35 Taf. XII zeigt die Sinusnadel, Fig. 36 die Tangentennadel in natürlicher Grösse; die Indices *ii* sind bei beiden Nadeln, um möglichst geringes Gewicht zu erhalten, aus Aluminium verfertigt.

Zum Apparate gehört noch eine kleine Widerstandsrolle (Fig. 37), mittelst welcher verschiedene Widerstände eingeschaltet werden können.

(Die Fortsetzung, die Galvanometer mit Spiegelablesung etc. enthaltend, folgt im nächsten Hefte.)

# Apparat zur Bestimmung der Dampfdichte.

Von

**A. Graf Grabowski.**

(Hiezu Tafel VIII.)

(Aus den Sitzungsberichten der Wiener Academie Bd. LIII. p. 8 u. ff.)

Da das specifische Gewicht der Dämpfe ihr Gewichtsverhältniss zur Luft bei gleichem Volumen ausdrückt, so dürfte dasselbe am einfachsten und genauesten dadurch erhalten werden, dass ein Volumen des zu untersuchenden Dampfes direct unter möglichst gleichen Verhältnissen der Temperatur und des Druckes mit einem Volumen Luft verglichen wird.

Kennt man das Gewicht $P$ eines Volums Luft $V$ und eben so ein Gewicht $P'$ eines Körpers, dessen Dampf unter denselben Verhältnissen das Volum $V'$ einnimmt, so wird das specifische Gewicht

$$S = \frac{P' . V}{P . V'}$$

sein. Stehen sie dabei nicht unter demselben Drucke, nämlich $V$ dem Drucke $H$ und $V'$ unter dem Drucke $H'$, so wird

$$S = \frac{P' . V . H}{P . V' . H'}$$

sein.

Der zu beschreibende Apparat erlaubt nun auf eine bequeme und einfache Weise bei jeder Untersuchung des specifischen Gewichtes diese Werthe für niedere und höhere Temperaturen festzustellen und macht aus dieser sowohl in der Ausführung selbst, als auch in der Berechnung des Resultates bisher ziemlich umständlichen Bestimmung ein verhältnissmässig leichtes und wenig zeiteinnehmendes Experiment.

Ein Blick auf die beigegebene Zeichnung Taf. VIII lässt die Construction des Apparates leicht erkennen. Die beiden Röhren (Fig. 4

Vorder- und Fig. 5 Seitenansicht), deren jede auf der inneren Seite eine Volums-, auf der äusseren eine Längstheilung nach Millimetern besitzt, werden von einem Halter getragen, in dem aus Eisenblech gefertigten Ofen (Fig. 1) durch Gas, welches aus einem auf einem Stiel verschiebbaren Brenner (Fig. 10) strömt, erhitzt. (Er hat die Einrichtung gewöhnlicher Bunsen'scher Brenner, die auf einem halbringförmigen Rohr *V* aufgesetzt sind. Je zwei der oben etwas umgebogenen Kamine sind zusammengekoppelt. In der Zeichnung sind die letzteren zwei abgenommen und in Fig. 11 vergrössert dargestellt.

Der Ofen ist also eine Art Luftbad. Fig. 3 zeigt ihn im Durchschnitt. Der Raum *o* zwischen den Wänden *a*, *a* ist mit Asche ausgefüllt. Die vordere Beobachtungsspalte ist mit einem Glasstreifen verschlossen; in der hinteren kann der Brenner auf und ab bewegt werden, wie Fig. 3 zeigt.

Die innere Wand *b* des Ofens, innerhalb deren sich die Röhren befinden, ist, um das Ablesen zu erleichtern, mit Kalk ausgeweisst. Der Boden des Ofens (Fig. 2) hat einige Ausschnitte *c*, *c*, *c*, *c* für den Luftwechsel. Das Ganze ruht auf einem festen eisernen Dreifusse *e*.

Was die Grössenverhältnisse anbetrifft, so zeigen Fig. 1—5, 10 und 11 den Ofen, die Röhren und den Brenner in $^1/_5$ der natürlichen Grösse; der Ofen hat eine Höhe von $50^{cm.}$ bei $18^{cm.}$ für den äusseren Durchschnitt und $7^{cm.}$ für den des Luftbades *b*. Die Röhren *f* und *g* sind ganz gleich weit, im Durchmesser von etwa $1.8^{cm.}$, bei einer Länge von $50^{cm.}$ für *f* und $49^{cm.}$ für *g* zu nehmen.

Fig. 6—9 stellen in natürlicher Grösse im Profil und Grundrisse den seiner Bestimmung entsprechend geformten Eisenblock *i*, die beiden Spangen *l*, *l* und den diese drei Stücke verbindenden $75^{cm.}$ langen viereckigen Eisenstab *k* dar.

Die längere, für die Luft bestimmte Röhre *f* wird auf gewöhnliche Weise mit Quecksilber gefüllt und in die Schale *s*, in die man zuvor etwa $6^{cm.}$ hoch Quecksilber gegossen hat, aufgestellt. Möglichst luftfrei wird nun die kürzere, für die Substanz bestimmte Röhre *g* bis auf etwa $1^{cm.}$ mit Quecksilber gefüllt, das die gewogene Substanz enthaltende Glaskügelchen[1]) hineingelegt und ein fester, durchbohrter Kork *h* darauf gesteckt.

---

1) Bei der angegebenen Dimension der Röhren sind je nach der Flüchtigkeit der Substanz und je nach der Temperatur, bis zu der man gehen will, 30 bis 100



Derselbe ist, was seine Dimensionen anbetrifft, so genommen, dass durch den herausstehenden Theil desselben die Länge der beiden Röhren, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, ausgeglichen wird. Beim Hineindrücken des Korks wird das Substanzkügelchen in das Quecksilber luftfrei getaucht und steigt beim Aufstellen der Röhre in deren oberen Theil.[1]) Sie wird nun in die Schale gesetzt und mit Quecksilber abgesperrt.

Jetzt wird der Eisenstab *k*, an dem man die beiden Doppelspangen *l*, *l* möglichst hoch geschoben, mit der unteren Spitze in ein in der Mitte der Schale *s* sich befindendes Grübchen eingesetzt, die beiden Röhren auf dem Block *i* in die für sie bestimmten Vertiefungen *m*, *m* gebracht, die beiden Spangen auf sie geschoben und die eine ziemlich unten, die andere oben mit dem Schräubchen an den Stab befestigt, wodurch die Röhren einen vollständig festen und sicheren Stand erhalten.

An dem oberen Spangenschräubchen hängt man ein möglichst kurzes Thermometer, wenn man nicht weit über 300° C. zu erhitzen gedenkt, an, und ungefähr wissen will, bei welcher Temperatur die Dampfdichtebestimmungen gemacht worden.[2]) Sonst leistet die Luftröhre zugleich den Dienst eines Luftthermometers.

---

Milligrammen Substanzgewicht zu nehmen. Die Glaskügelchen selbst werden zweckmässig an beiden Enden mit Röhrchen versehen geblasen; letztere vor der Spirituslampe dicht neben dem Kügelchen zu Haarröhrchen ausgezogen, gewogen, mit der flüssigen Substanz, mittelst Hinaufsaugens gefüllt und vor der Glasblaselampe die Haarröhrchen kurz abgeschmolzen. Die abgeschmolzenen Röhrchen, aus denen zuvor die verbliebene Substanz verjagt, sammt dem gefüllten Kügelchen zurückgewogen.

1) Die Substanzröhre, bei der es darauf ankommt sie ganz luftfrei mit Quecksilber zu füllen, so wie es hier angegeben ist, vor dem Umkehren in das Sperrquecksilber mit einem durchbohrten Korke, statt wie gewöhnlich mit dem Finger zu verschliessen, ist ein Kunstgriff, durch den man den beabsichtigten Zweck am leichtesten erreicht.

2) Will man die Temperatur genauer bestimmen, so steckt man in jede Röhre ein kurzes, von 100° C. anfangendes, von 5° zu 5° getheiltes, dem Volum nach bekanntes Thermometer, das mittelst einer Spange, an der eine Feder genietet ist, in dem oberen Theile der Röhre festgehalten wird. Indem ich in jede Röhre mehrere Thermometer in verschiedenen Höhen so befestiget habe, habe ich mich überzeugen können, dass in gleichen Höhen eine ganz gleiche Temperatur in den Röhren (die man, um sie gleichmässig zu erhitzen, während des Versuches mittelst des Stiels ihres Halters öfters dreht) erzielt wird; während in verschiedenen Höhen merkliche Differenzen sich beobachten liessen. Eine solche Temperaturdifferenz in verschiedenen Höhen kann aber auf die Richtigkeit der Methode von keinem Einfluss sein.

Nachdem der Dreifuss *e* so gestellt worden, dass die Schale *s* sammt dem die Röhren tragenden Gestell in dessen Mitte zu stehen kommt, wird der Ofen darüber geschoben, so dass der Eisenstab *k* mit seiner Spitze durch die dazu bestimmte Oeffnung *u* heraustritt und ersterer auf dem Dreifuss *e* zu ruhen kommt. Die Schale *s* wird nun sammt den Röhren, wenn es nothwendig ist, mittelst unterlegter Brettchen um so viel höher gestellt, als das obere Knie des Eisenstabes *k* es erlaubt; zugleich werden durch Verschieben der Schale die Röhren in eine vollständig senkrechte Lage gebracht.

Der Gasbrenner, der zuvor in den Ofen so gestellt worden, dass sein Stiel aus der hinteren Spalte hervorragt (Fig. 3), wird auf seinen Halter gesetzt und so hoch festgeschraubt, dass seine Flamme etwa $5^{cm.}$ unterhalb der Röhren den Ofen bespült. Um letzteren vor der Abkühlung mehr zu schützen, wird eine durchlöcherte Blechplatte heraufgelegt, so wie auch der Schieber *d*, so viel der Stiel des Brenners es erlaubt, heruntergelassen.

Man stellt sich jetzt vor der Beobachtungsspalte und dreht mit der Hand ab und zu den die Röhren tragenden Eisenstab, damit sie gleichmässig erhitzt werden. Um bequem mit der Hand hineinlangen zu können, muss ein Zwischenraum von etwa $6^{cm.}$ zwischen dem Oberrand der Schale und dem Ring des Dreifusses gelassen werden.

Bald sieht man das Glaskügelchen platzen und die Dämpfe der Substanz die Quecksilbersäule herunterdrücken. In dem Masse, als man mit dem Gasbrenner tiefer rückt, wobei jedoch die Flamme stets unter dem Niveau des Quecksilbers das Luftbad *b* bespülen muss, nehmen die Dämpfe ein grösseres Volum ein. Hat die Substanz bereits vollständig die Dampfform angenommen, so fängt man an die Luft in die für sie bestimmte Röhre *f* hineinzulassen, was ganz leicht mittelst des Fig. 12 in der Hälfte der natürlichen Grösse dargestellten kleinen Apparates ausführbar ist.

*r* ist ein, etwa $1.5^{cm.}$ weites und $3^{cm.}$ langes Kautschukrohr, das an beiden Enden mit gutschliessenden Korken versehen ist, in die ihrerseits von der einen Seite ein enges, in eine umgebogene Spitze ausgezogenes Glasröhrchen *p*, von der anderen ein eben solches, kürzeres, gerades *q*, auf das ein Kautschukröhrchen *t* genau passt, stecken.

Fährt man mit der Glasröhre *p* von unten in die Luftröhre und drückt mit der einen Hand das Kautschukrohr *r* zusammen, während man mit der anderen das Kautschukrohr *t* fest zusammenpresst, so

wird die in der Röhre *r* enthaltene Luft in die Luftröhre übergeführt. Hört der Druck auf die beiden Kautschukröhren auf, so tritt äussere Luft in sie hinein, die man wieder in die Luftröhre hineinpresst, was man so lange wiederholt, bis das Luftvolum möglichst gleich dem Dampfvolum ist.[1]) Dieses ist leicht zu erzielen, da man es in seiner Gewalt hat nicht über ein Zehntel CC. Luft auf einmal hineinzulassen.[2])

Man kann nun anfangen, die Volumverhältnisse der Substanzdämpfe und der Luft zu notiren. Da man möglichst gleichzeitig beide Volumina zu bestimmen hat, so muss man diese Röhren so stellen, dass die Volumscalen neben einander zu stehen kommen; so wie vor jeder Ablösung die Röhren nebst ihrem Gestell einige Male herumgedreht werden müssen, um die Gleichmässigkeit der Temperatur in beiden zu sichern.

Nach jeder Volumsnotirung wird auch die Höhe der Quecksilbersäule, unter deren Druck sie stehen, bestimmt, indem an der Millimeterscala die Höhe der Säule über dem Niveau in der Schale abgelesen und vermerkt wird.

Unter Vergrösserung oder Verminderung der Temperatur mittelst Regulirung der Gasflamme wird eine Reihe Volumsnotirungen gemacht und nach dem Auslöschen der Flamme der herrschende Barometerstand verzeichnet.

Man besitzt nun alle zur Bestimmung des specifischen Gewichtes nothwendigen Data, ausser dem des Gewichtes der verwendeten Luft, welches man erst, nachdem dieselbe die Umgebungstemperatur angenommen, berechnet.

Um die Abkühlung zu beschleunigen, wird der Ofen abgenommen; die Röhren werden mittelst einer Klemme in ihrer senkrechten Lage erhalten.

Hat die zum Versuch verwendete Luft und das absperrende Quecksilber die Umgebungstemperatur angenommen, so wird das Volum der Luft, die Höhe der Quecksilbersäule über dem Niveau in

1) Es wird weiter gezeigt werden, dass die Dampfdichtebestimmungen je genauer dieses erzielt, desto correcter werden.

2) Will man getrockneter Luft sich bedienen, so verbindet man die Kautschukröhre *t* mit einem Gasometer, der dieselbe enthält. Zweckmässig würde auch der Hlasiwetz'sche Apparat zum Ueberführen bestimmter Gasvolumina (Annalen, Bd. 97, S. 241) gebraucht werden können.



der Schale, so wie der herrschende Barometerstand, falls derselbe sich verändert haben sollte, notirt und die Dampfdichte in folgender Weise berechnet. [1])

Wir hatten:

$$S = \frac{P' \, . \, V \, . \, H}{P \, . \, V' \, . \, H'}.$$

Von diesen sechs Grössen werden $P'$, $V$ und $V'$ direct bestimmt. Um $P$ (Gewicht der verwendeten Luft) zu finden, lässt man die abgesperrte Luft, wie oben angegeben, die Umgebungstemperatur annehmen, bestimmt ihre Temperatur und den Druck, unter dem sie steht (letzteres, indem man die auf 0° reducirte Quecksilbersäule, über der sie steht, von dem auf 0° reducirten herrschenden Barometerstande abzieht) und berechnet das Gewicht eines CC. Luft unter diesen Verhältnissen [2]); multiplicirt man diesen Ausdruck mit der gemessenen Anzahl CC., so erhält man $P$.

Die Grössen $H$ und $H'$ endlich erhält man durch Subtraction der Quecksilbersäulen $h$ und $h'$, unter deren Druck die Luft und die

1) Nach dem Erkalten der Substanzröhre kann man sehen, ob das Quecksilber ganz luftleer war und den durch die Luftblase entstehenden Fehler, der nur, wenn sehr wenig Substanz zum Versuch genommen worden, von Belang sein dürfte, corrigiren, indem man das Volum der Luftblase bei der beobachteten Temperatur vom Dampfvolum abzieht. Hat die Substanz eine höhere Temperatur ohne Zersetzung nicht ertragen, so könnten die Zersetzungsproducte, falls sie sich beim Sinken der Temperatur nicht wieder vereinigt hätten, nach dem Erkalten gemessen und untersucht werden. Nähme man Röhren von über 760mm. Länge, so würde man, wie Wanklyn jüngst vorgeschlagen (Centralblatt 1865, S. 918), Dampfdichtebestimmungen bei sehr vermindertem Drucke auszuführen im Stande sein.

2) 1 CC. Luft $= \frac{1 \cdot 293187 \, (B_0 - H_0)}{760 . \, (1 + 0 \cdot 003665 . \, t^0)}$ Milligrmm. Die folgende Tabelle enthält für die Temperaturen von 10 bis 25° C. den Werth $\frac{1 \cdot 293187}{760 . \, (1 + 0 \cdot 003665 . \, t^0)}$, wodurch die Rechnung wesentlich vereinfacht wird, indem der der Temperatur entsprechende Werth aus der Tabelle nur mit $B_0 - H_0$ zu multipliciren ist, um das Gewicht eines CC. Luft unter diesen Verhältnissen der Temperatur und des Druckes, unter denen er gemessen, zu erhalten.

| $t^0$ | Coëfficient. | $t^0$ | Coëfficient. | $t^0$ | Coëfficient. | $t^0$ | Coëfficient. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0·001641 | 14 | 0·001619 | 18 | 0·001596 | 22 | 0·001575 |
| 11 | 0·001636 | 15 | 0·001613 | 19 | 0·001591 | 23 | 0·001569 |
| 12 | 0·001630 | 16 | 0·001607 | 20 | 0·001585 | 24 | 0.001564 |
| 13 | 0·001624 | 17 | 0·001602 | 21 | 0·001580 | 25 | 0·001559 |



untersuchte Substanz bei jeder Notirung gestanden und die man unmittelbar an der Millimeterscala einer jeden Röhre abgelesen, von dem herrschenden Barometerstande.

Da es nun auf das Verhältniss $\frac{h}{h'}$ ankommt, so müsste, wenn der Unterschied zwischen den beiden Säulen gross wäre, eine Correctur wegen des Temperaturunterschiedes des Quecksilbers, jedoch nicht für die ganzen Säulen, sondern nur für den Theil $h - h'$ (wenn $h > h'$) angebracht werden. Da man es aber fast vollständig in seiner Gewalt hat, $h$ und $h'$ während des Experiments sehr nahe gleichzustellen und wenn der Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen 10 Millim. beträgt, bei der Berechnung der Dampfdichte die Vernachlässigung der Correctur für den Temperaturunterschied dieser Säule auch bei höheren Temperaturen wegen der Kleinheit des Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers einen Fehler von nur etwa $^1/_{1000}$ im Schlussresultate ausmacht, so dürfte derselbe wohl unberücksichtigt gelassen werden.

Man hat also nur die direct abgelesenen Quecksilbersäulen $h$ und $h'$ vom corrigirten oder nicht corrigirten herrschenden Barometerstande ($B$) abzuziehen und erhält:

$B - h = H$ und $B - h' = H'$ [1]).

Hat man die Quecksilbersäulen $h$ und $h'$ ganz gleich hergestellt, so ist auch $H = H'$ und, in sofern die beiden Röhren gleich weit sind, auch $V = V'$, mithin $\frac{V.H}{V'.H'} = 1$; folglich, da $S = \frac{P'.V.H}{P.V'.H'}$ ist, in diesem Falle $S = \frac{P'}{P}$ und es muss diese Dampfdichtebestimmung, wenn man richtig die Substanz gewogen und die Volumen abgelesen, ganz genau ausfallen. Gelingt es auch nicht immer, das die vollkommene Genauigkeit bedingende Verhältniss herzustellen, so hat man es jedenfalls in seiner Gewalt, den Fehler in sehr engen Grenzen zu halten.

---

1) Da der Ausdruck $\frac{P'}{P}$ für alle Notirungen derselbe bleibt und nur $\frac{V.H}{V'.H'}$ für jede wechselt, so verwendet man zweckmässig die Zeit, während welcher die Substanzröhre die Umgebungstemperatur annimmt, um letzteren Werth für jede Notirung auszurechnen, der dann mit dem Werthe $\frac{P'}{P}$ zu multipliciren ist.

# Trigonometrische Formeln für den allgemeinsten Fall der Brechung des Lichtes an centrirten sphärischen Flächen.

Von

**Prof. Dr. Seidel.**

(Aus den Sitzungsberichten der Münchener Academie 1866 II. p. 263 ff.)

Die zum Gemeingut gewordenen mathematischen Formeln, nach welchen man (durch eine trigonometrische Rechnung) den Weg eines Lichtstrahles durch ein System centrirter Kugelflächen genau zu verfolgen im Stande ist, und von welchen der practische Optiker Gebrauch macht, wenn er in der Rechnung die letzte Hand anlegen will zur Verbesserung der bereits annäherungsweise gefundenen Constructionen, — fassen bekanntlich das geometrische Problem nicht in seiner ganzen Allgemeinheit, sondern schränken sich ein auf die Betrachtung solcher Lichtstrahlen, die mit der optischen Axe ursprünglich in Einer Ebene liegen, und in Folge dessen auch alle successiven Brechungen in dieser festen Ebene erleiden. Sie begreifen hiemit alle Strahlen des von einem Puncte ausgehenden Lichtkegels nur dann in sich, wenn dieser Punct in der Mitte des Gesichtsfeldes (d. i. in der verlängerten optischen Axe) liegt; in jedem andern Falle genügen den besondern Voraussetzungen jener Formeln nur mehr die Strahlen, welche der den Kegel halbirenden Ebene angehören, d. h. der Ebene, die durch die Spitze des Kegels und durch die optische Axe gelegt wird. Denkt man zum Beispiel diese Axe horizontal gerichtet und den leuchtenden Punct irgendwo gerade über ihr befindlich, so kann man nach den seither vorliegenden trigonometrischen Formeln Strahlen nicht verfolgen, welche von ihm aus entweder auf die rechte oder auf die linke Hälfte der Oeffnungsfläche des Apparates treffen, sondern allein diejenigen, deren Auffallspuncte genau in der Scheidungslinie beider Hälften sich be-

finden. Diese letzteren mussten bisher als die ausgewählten Repräsentanten des ganzen Lichtkegels gelten; schwerlich ist jemals (vor der ganz neuen Anwendung, welche die hernach mitzutheilenden Rechnungsvorschriften im Steinheil'schen Institute gefunden haben) der genaue Weg eines einzigen andern Strahls auch nur durch eine einfache Linse mittelst des Calculs verfolgt worden. Zwar genügt das Fraunhofer'sche Fernrohr-Objectiv einer Bedingung der grössten Leistung auch in Bezug auf die Strahlen ausserhalb der Axen-Ebene (wie ich an anderem Orte nachgewiesen habe), aber da es derselben Gleichung auch schon genügen musste, um jene repräsentativen Strahlen in der Axenebene möglichst gut zur Vereinigung zu bringen, und da nach Berücksichtigung dieser letzteren an dem einfachen Doppelobjectiv überhaupt nichts mehr disponibel blieb, so konnte es gefunden werden, ohne dass eine Erweiterung der Rechnung auf den Raum nothwendiges Erforderniss war. Selbst Bessel's meisterhafte theoretische Discussion über die dioptrische Wirkung des Heliometer-Objectivs der Königsberger Sternwarte hat die Strahlen ausserhalb der Axenebene bei Seite gelassen[1]); andrerseits geht Gauss bei der Ableitung seiner Näherungsformeln (in den „dioptrischen Untersuchungen“) zwar aus von Gleichungen, welche Allgemeinheit mit Strenge verbinden, aber er gibt keine Anweisung für die Berechnung dreier in denselben auftretenden Winkel ($\Theta$, $\lambda$, $\lambda'$), weil es für das Ziel seiner Untersuchung und unter den Voraussetzungen derselben genügte, zu constatiren, dass der Cosinus des ersten und die Sinus der beiden andern von der Einheit nur um kleine Grössen zweiter Ordnung verschieden seien. In ähnlicher Weise waren auch in meiner (Astronom. Nachrichten Nr. 1027 ff. veröffentlichten) Untersuchung, welche für den allgemeinsten Fall die Entwicklung der Glieder von der Ordnung der sogenannten sphärischen Abweichung zum Gegenstand hat, nur Näherungswerthe für die trigonometrischen Functionen jener Winkel zu Grunde zu legen. Es versteht sich, und ist auch von Bessel am oben angeführten Orte ausgesprochen worden, dass die Entwerfung strenger Formeln, durch welche für jede Lage des auffallenden Strahles die entsprechende des gebrochenen bestimmt wird, keine wirkliche mathematische Schwierigkeit bietet; man erhält aber bei einer nicht ganz angemessenen Wahl der Grössen, mit Hilfe deren diese Lage bestimmt wird, die Rechnungsvorschriften leicht

1) Astronomische Untersuchungen, Bd. I, Abh. II, § 18.

in einer Gestalt, die ganz geeignet ist, von ihrer wirklichen Benützung selbst einen ausdauernden Rechner zurückzuschrecken (um so mehr, da die Verfolgung einzelner Strahlen im Raume überhaupt nur angezeigt ist, wenn man über eine etwas grössere Anzahl von Brechungen verfügt) — z. B. in solcher Form, dass bei jeder einzelnen Ablenkung, die der Strahl erleidet, entweder ein unbequemes sphärisches Dreieck aufgelöst, oder durch successive Näherung vorgegangen werden muss. Nachdem indessen die steigenden Anforderungen an Oeffnung und Gesichtsfeld, namentlich bei Photographen-Objectiven, nicht mehr erlauben, die Strahlen ausser der Axenebene zu ignoriren, so hoffe ich, einigen denkenden Optikern einen Dienst zu leisten durch die Mittheilung der folgenden Rechnungsvorschriften, welche die Probe der Anwendbarkeit bereits vielfach bestanden haben. Den nächsten Anlass, sie definitiv zusammenzustellen, hat mir der Wunsch des Herrn Ministerialraths Dr. Steinheil gegeben. Für die Zwecke des von Ihm begründeten optischen Instituts hat seit einem Jahre Dr. Ad. Steinheil, der Sohn, meine Formeln zum öftern benützt: er findet nach denselben die Mühe der Berechnung Eines Strahles ausserhalb der Axen-Ebene nur sehr wenig grösser als diejenige, unter analoger Vorsicht gegen Irrungen des Calculs zwei Strahlen in der Axen-Ebene zu verfolgen. Hiernach scheinen die Formeln das Maximum der erreichbaren Bequemlichkeit sehr nahe darzubieten; denn nicht nur erfordert nach der Natur der Sache die Bestimmung der Lage im Raume überall zwei Projectionen, wo in der Ebene Eine genügt, sondern der allgemeine Fall ist auch deshalb verwickelter, weil auf jede einzelne Grösse eine grössere Anzahl von einander unabhängiger Variabeln Einfluss erhält.

Handelt es sich um die Berechnung eines Apparates, der ausgeführt werden soll, so wird man der Sicherheit halber genöthigt sein, für jeden Strahl, der theoretisch verfolgt wird, entweder nach den Gleichungen, welche zur Bestimmung der gesuchten Stücke aufgestellt worden sind und ausreichen, die ganze Rechnung zweimal unabhängig zu führen, oder neben diesen Gleichungen noch besondere Controlformeln zur Prüfung der erhaltenen Zahlenwerthe zu benützen. Die letztere Art der Verification (natürlich unter der Voraussetzung, dass die Controlen erschöpfend für die einzelnen Acte der Rechnung sind) verdient unter den beiden Wegen den Vorzug, falls Ein Rechner die ganze Arbeit zu machen hat, weil ein solcher bekanntlich leicht an gleicher Stelle wieder in den gleichen Fehler verfällt; ich habe des-

halb bei der Entwerfung der nachstehenden Vorschriften ein besonderes Augenmerk auf die Herstellung geeigneter Probeformeln gerichtet. Das Princip, nach welchem man erkennt, welche Theile einer numerischen Rechnung durch die richtige Erfüllung einer bestimmten Controlgleichung verificirt sind und welche nicht, ist einfach und fliesst aus der Natur der Sache. Wenn zur Berechnung einer Anzahl von Unbekannten eine gleich grosse Anzahl von Gleichungen einmal aufgestellt ist, so ist dadurch die Art der Abhängigkeit jener gesuchten Grössen von den gegebenen mathematisch vollkommen fest gelegt: dieselben Variabeln (oder einige von ihnen) können nicht noch einer weiteren überzähligen Bedingung sich unterwerfen, welche nicht aus ihrer bereits fixirten mathematischen Functionsform von selbst folgt. Jede sich darbietende überzählige Gleichung (Controlformel) für die Unbekannten muss also aus einigen der Gleichungen, die schon zur Bestimmung dieser Unbekannten benützt sind (oder aus ihnen allen zusammen), als eine identische Folgerung sich ableiten lassen, auch wenn vielleicht die Betrachtung, durch welche wir zunächst auf sie gestossen sind, ursprünglich eine andere Richtung eingeschlagen hätte. Man wird also auch in dem letzteren Falle (der ziemlich häufig bei Grössen sich ergibt, die für unsere Anschauung eine Bedeutung darbieten) nur zu untersuchen haben, welche unter den Bestimmungsgleichungen der Unbekannten nothwendig und ausreichend sind, um die überzählige (d. i. Control-) Gleichung aus ihnen abzuleiten; es ist klar, dass das richtige numerische Eintreffen der Controle nur eine Probe für die richtige Erfüllung derjenigen Bestimmungsgleichungen abgibt, aus welchen sie selbst mathematisch hervorgeht, und nicht auch für die übrigen, die keinen Antheil an ihr haben.

---

Der geradlinige Strahl, welcher an einer der sphärischen Flächen eines centrirten optischen Apparates gebrochen wird, möge diese Fläche treffen im Puncte $P$. Durch den Mittelpunct $M$ der Kugelfläche denken wir uns senkrecht zur optischen Axe eine Ebene gelegt: der auffallende Strahl (nöthigenfalls vor- oder rückwärts verlängert) durchdringe dieselbe in $Q$, der gebrochene aber in $Q'$[1]). Der eine wie der andere

1) Die Benennungen werden hier, soweit es thunlich ist, conform gewählt denjenigen bei Gauss.

wird nach seiner Lage im Raume vollkommen bestimmt durch je vier Stücke, die sehr verschieden gewählt werden können; wir nehmen dafür zwei Coordinaten, welche in der durch $M$ gelegten Transversal-Ebene die Lage des Punctes $Q$ (oder resp. $Q'$) fixiren, und zwei Winkel, durch welche die Richtung definirt wird, unter der der Strahl (oder seine virtuelle Fortsetzung) den Punct $Q$ (resp. $Q'$) passirt. Es ist die Aufgabe, aus den gegebenen vier Stücken für den auffallenden Strahl zu berechnen die vier ähnlichen für den gebrochenen, — natürlich unter Voraussetzung der Kenntniss des Brechungsverhältnisses und der Krümmung der brechenden Sphäre. Weil ferner, wenn mehrere Brechungen auf einander folgen, bei dem Uebergang von der Einen zur andern jedesmal der Punct $M$ ein anderer wird, und also die durch ihn gelegte Transversal-Ebene sich zugleich verrückt, so muss auch der Zusammenhang hergestellt werden zwischen den Coordinaten, welche sich auf die Eine beziehen, und denjenigen in der nächstfolgenden.

Die Ebene des Dreiecks $PQM$ enthält den auffallenden Strahl $PQ$ und das Einfallsloth $PM$: folglich nach dem Gesetze der Brechung auch den gebrochenen Strahl $PQ'$. Oder mit andern Worten: die beiden Ebenen $PQM$ und $PQ'M$ coincidiren. Folglich haben sie auch eine gemeinschaftliche Durchschnittslinie mit der durch $M$ gelegten Transversal-Ebene, d. h. die drei Puncte $Q$, $Q'$, $M$ liegen in einer Geraden, oder die beiden Radienvectoren, welche von $M$ aus nach $Q$ und $Q'$ gezogen werden, haben einerlei Richtung[1]). Bedient man sich also zur Bestimmung der Lage von $Q$ und $Q'$ innerhalb unserer Transversalebene der Polarcoordinaten, nämlich der eben gedachten Radienvectoren $MQ = u$, $MQ' = u'$, und der von diesen mit einer festen Richtung gebildeten Winkel, so hat man den Vortheil, dass die anguläre Coordinate durch die Brechung sich nicht verändert.

Die feste Richtung, von der aus die Polarwinkel zählen, ist an sich ganz willkührlich, sie soll aber in allen nach einander zur Betrachtung kommenden Transversal-Ebenen dieselbe sein, d. h. in diesen verschiedenen Ebenen bezeichnet durch unter sich parallele und von der optischen Axe aus in gleichem Sinne Einseitig gezogene Gerade. Der Bequemlichkeit des Ausdrucks halber mag sie für uns die Richtung

1) Im Falle die sphärische Fläche eine spiegelnde statt einer brechenden wäre, würden beide Richtungen einander diametral entgegengesetzt sein: von diesem besondern und zugleich besonders einfachen Fall werde ich im Folgenden nicht weiter reden.

von $M$ aus nach oben heissen: (wobei die Vorstellung horizontaler Lage der optischen Axe zu Grunde liegt); von ihr an werden die Winkel, welche verschiedene aus $M$ gezogene (und nie rückwärts über $M$ verlängerte) Radienvectoren mit ihr einschliessen, alle in Einem festgesetzten Sinne („rechts herum" sei er genannt) durchgezählt von 0 bis 360 Grad[1]). In dieser Weise gerechnet bezeichne $U$ den gemeinschaftlichen Winkel unserer beiden Radienvectoren $MQ$, $MQ'$ mit der Richtung nach oben, während $u$, $u'$ die (nothwendig positiven) Längen dieser Radienvectoren vorstellen.

Durch diese Polarcoordinaten $u$, $U$ und resp. $u'$, $U$ werden die Durchschnittspuncte $Q$, $Q'$ des Strahles, vor und nach der Brechung, mit der festen Transversalebene fixirt. Die Winkel, welche wir noch gebrauchen zur Bestimmung der Richtung, aus welcher er auf jene Puncte gelangt, kann man, in der Sprache der sphärischen Astronomie, kurzweg bezeichnen als die scheinbare Distanz ($w$) desjenigen Punctes am Himmel, auf welchen der rückwärts verlängerte Strahl weist, von der Mitte des Gesichtsfeldes, und als den Positionswinkel ($p$) eben dieses Punctes am Himmel, genommen an der Mitte des Gesichtsfeldes und von der Richtung nach oben aus. Ohne diese technische Ausdrucksweise definirt man dieselben Grössen wie folgt: Denkt man sich von $Q$ aus nach derjenigen Seite zu, von welcher her ursprünglich das Licht kommt, eine Parallele mit der optischen Axe gezogen, so wird dieselbe mit dem auf der nämlichen Seite unserer Transversal-Ebene liegenden Stück des auffallenden Strahles (oder seiner Verlängerung) einen Winkel bilden, den wir $w$ nennen (und welcher klein ist in den zunächst wichtigen Fällen); projicirt man ferner das eben bezeichnete Stück unseres Strahles in unsere durch $M$ gelegte Transversal-Ebene, so schliesst seine (von $Q$ aus einseitig fortgehende) Projection mit der aus $Q$ nach oben führenden Richtung einen Winkel $p$ ein, welcher von der letzteren Richtung aus genau so, wie vorhin $U$, nämlich rechts herum bis zu $360^0$ gezählt werden soll[2]). Für den gebrochenen Strahl

1) Es ist übrigens erlaubt, von dem so gerechneten Winkel $360^0$ abzuziehen, also z. B. statt der Winkel im 3. und 4. Quadranten negative stumpfe oder spitze Winkel einzuführen, — überhaupt beliebige Vielfache der ganzen Kreisperipherie zu addiren oder zu subtrahiren, — weil dadurch weder die durch die Winkel bestimmten Richtungen noch die goniometrischen Functionen der ganzen Winkel sich ändern, halbirte oder sonst getheilte Winkel aber in unseren Ausdrücken nicht auftreten.

2) Man kann auch $w$, $p$ analog dem $u$, $U$ definiren, nämlich $w$ als den angulären Werth des Radiusvectors, $p$ als den Polarwinkel des Punktes, in welchem

treten zwei analoge Winkel $w'$, $p'$ (deren Scheitel in $Q'$ liegen) an die Stelle von $w$, $p$.

Um den Uebergang von den Grössen $u$, $w$, $p$ zu den durch die Brechung veränderten Werthen $u'$, $w'$, $p'$ in einer für die Zahlenrechnung angemessenen Weise herzustellen, ist noch die Einführung von einigen Hilfswinkeln nöthig. Wir bezeichnen mit $\lambda$ den (inneren) Winkel bei $Q$ im Dreieck $PQM$, mit $\lambda'$ den analogen bei $Q'$ im Dreiecke $PQ'M$, ferner mit $S$ den Winkel bei $P$ im ersteren Dreiecke, d. h. den Einfallswinkel des Strahls, mit $S'$ den ähnlichen im zweiten Dreiecke, oder den Brechungswinkel.

Das Verhältniss der Sinus der beiden letzteren Winkel ist nach dem Brechungsgesetz für Strahlen irgend einer bestimmten Farbe eine von der Natur der beiden Medien abhängige Constante; wir setzen, nach der üblichen Bezeichnung

$$\sin S : \sin S' = \frac{1}{n} : \frac{1}{n'}$$

Der Radius der brechenden Kugelfläche, ausgedrückt in derselben Längeneinheit, deren man sich für die Radienvectoren $u$, $u'$ bedient, sei mit $R$ bezeichnet. Wir nehmen hier diese Grösse immer als positiv an, und halten die beiden Fälle, in welchen die Sphäre ihre Convexität oder Concavität gegen diejenige Seite wendet, von welcher her ursprünglich das Licht kommt, in den Formeln durch Doppelzeichen auseinander. Ueberall bezieht sich im Folgenden, wo ein solches Doppelzeichen steht, das obere auf den ersten, das untere auf den zweiten der so eben bezeichneten Fälle. Man könnte beide durch ein und dieselbe Formel umfassen, wenn man an $R$ selbst (wie es gewöhnlich geschieht) ein Vorzeichen unterscheiden und zugleich die Definition der Winkel $\lambda$, $\lambda'$ etwas anders einrichten wollte, als wir sie aufgestellt haben: für den Gebrauch in numerischer Rechnung, und besonders für die mit derselben zu verbindende geometrische Vorstellung scheint mir aber die hier getroffene Anordnung etwas bequemer.

Zu den gegebenen Grössen $w$, $p$, $U$ wird zuerst $\lambda$ berechnet. Wir denken uns um den Punct $Q$ unserer Transversal-Ebene, und zwar auf derjenigen Seite der letzteren, von welcher her ursprünglich das Licht kommt, mit beliebigem Radius eine Halbkugel beschrieben: auf der

der Strahl eine auf der Axe senkrechte Ebene trifft, welche auf derjenigen Seite, von der das Licht kommt, in unendlicher Entfernung gedacht wird.

Oberfläche derselben werde momentan mit $\alpha$ der Punct bezeichnet, in welchem sie von einer durch $Q$ parallel zur optischen Axe gelegten Geraden getroffen wird: mit $\sigma$ der Punct, in welchem sie vom Strahl $PQ$ (oder dessen Verlängerung) durchdrungen wird: mit $\mu$ (in unserer Transversal-Ebene gelegen) der Punct, in welchem der über $Q$ hinaus verlängerte Radiusvector $MQ$ sie trifft. Im sphärischen Dreiecke $\alpha\sigma\mu$ ist Seite $\alpha\mu = 90^0$, Seite $\alpha\sigma = w$; der Winkel bei $\alpha$ hat einen der Werthe $U - p$ oder $p - U$; endlich ist Seite $\mu\sigma$ gleich dem äusseren oder dem inneren Winkel bei $Q$ im ebenen Dreiecke $PQM$, also gleich $180^0 - \lambda$ oder $\lambda$, je nachdem der Punct $P$ auf derselben Seite der Transversal-Ebene liegt, auf welcher unsere Halbkugel gedacht wird, oder auf der entgegengesetzten, d. h. je nachdem die Convexität der brechenden Fläche nach der Seite gerichtet ist, von welcher her ursprünglich das Licht kommt, oder nach der andern. Man erhält daher, mit der oben angegebenen Bedeutung des Doppelzeichens:

$$\cos \lambda = \mp \sin w \cos (p - U) \tag{1}$$

Die Bestimmung von $\lambda$ durch seinen cosinus ist frei von Zweideutigkeit, weil der Winkel seiner Definition nach zwischen 0 und $180^0$ liegen muss. Zugleich ist sie günstig für die numerische Rechnung, weil in den zunächst wichtigen Fällen $\lambda$ von $90^0$ wenig verschieden ist.

Man kennt jetzt im ebenen Dreieck $PQM$ die Seiten $PM = R$, $QM = U$ und den Winkel $\lambda$ bei $Q$; man kann also rechnen den Winkel bei $P$, d. h. den Einfallswinkel $S$ des Strahles:

$$\sin S = \frac{u \sin \lambda}{R} \tag{2}$$

und mit ihm sogleich den analogen Winkel im Dreiecke $PQ'M$, nämlich den Brechungswinkel:

$$\sin S' = \frac{n}{n'} \sin S \tag{3}$$

Im letzteren Dreiecke ist nun auch der Winkel bei $Q'$, oder $\lambda'$, bekannt, weil der dritte Winkel, bei $M$, den beiden Dreiecken gemeinschaftlich und also $\lambda' + S' = \lambda + S$ ist:

$$\lambda' = \lambda + (S - S) \tag{4}$$

Ferner findet man die Seite $MQ' = u'$ desselben Dreiecks:

$$u' = \frac{R \sin S'}{\sin \lambda'} = u \frac{n}{n'} \frac{\sin \lambda}{\sin \lambda'} \tag{5}$$

Rechnet man diesen Werth nach den beiden angesetzten Formeln, die ihn genau übereinstimmend ergeben müssen, so controlirt sich zu-

gleich die richtige Bildung von sin $S$ und sin $S'$ gemäss den Gleichungen (2) und (3). Der Quotient $\frac{\sin \lambda}{\sin \lambda'}$ wird ohnediess noch gebraucht.

Der Punct $Q'$ ist jetzt durch seine Polarcoordinaten $u'$, $U$ bestimmt. Es fehlen noch für den gebrochenen Strahl die Grössen $w'$, $p'$. Die Eine der nöthigen Gleichungen ergiebt sich ohne Weiteres aus (1), wenn man die Zeichen $\lambda$, $w$, $p$ mit Accenten versieht (und $U$ beibehält); weil natürlich für den gebrochenen Strahl ein sphärisches Dreieck völlig analoger Bedeutung mit dem vorhin betrachteten existirt. Die zweite Gleichung erhält man am direktesten durch die Bemerkung, dass (nach der vorhin angewandten Bezeichnung) der Winkel bei $\mu$ im ersteren Dreieck übereinstimmen muss mit dem entsprechenden im zweiten. Denn die Ebene des grössten Kreises $\sigma\mu$ geht durch den auffallenden Strahl und durch den Mittelpunct $M$: sie bleibt also nach dem Brechungsgesetz unverändert, wenn man den gebrochenen Strahl statt des auffallenden nimmt; die Ebene des grössten Kreises $a\mu$ aber (welche mit jener den Winkel $\mu$ einschliesst) enthält die beiden Geraden $Qu$, die über $Q$ verlängert die Axe in $M$ schneidet, und $Qa$ die der Axe parallel ist: sie enthält also selbst die Axe, oder sie ist die durch die Axe und durch den Radiusvector $MQ$ gelegte Ebene. Da nun $MQ'$ und $MQ$ in der Richtung auf einander fallen, so bleibt auch diese Ebene unverändert, wenn man $Q'$ an die Stelle von $Q$ setzt, — und die aufgestellte Behauptung ist hiemit evident.

Der Ausdruck für sin $\mu$, wie er aus dem ersten sphärischen Dreiecke sich ergiebt, nämlich $\frac{\sin w \sin (p - U)}{\sin \lambda}$ muss sonach gleich sein dem ähnlichen, welchen das zweite Dreieck liefert, und in welchem $w'$, $p'$, $\lambda'$ statt $w$, $p$, $\lambda$ auftreten. Man hat daher jetzt zur Berechnung von $w'$, $p'$ die zwei Gleichungen:

$$(6) \qquad \sin w' \sin (p' - U) = \frac{\sin \lambda'}{\sin \lambda} \sin w \sin (p - U)$$

$$(7) \qquad \sin w' \cos (p' - U) = \mp \cos \lambda'$$

Weil $w'$ einen spitzigen Winkel vorstellt, dessen Sinus nothwendig positiv ist, so kennt man die Vorzeichen von sin und cos $(p' - U)$, kann also in keinem Zweifel sein wegen des Quadranten. Was $w'$ angeht, so ist zu bemerken, dass der Winkel selbst in der weiteren Rechnung nicht gebraucht wird, sondern neben dem Sinus nur noch die Tangente; diese letztere kann man auch direct berechnen. Wenn

man nämlich aus den beiden sphärischen Dreiecken statt des $\sin\mu$ den $\cos\mu$ bestimmt, so findet man ihn aus dem ersten $= \frac{\cos w}{\sin\lambda}$ aus dem zweiten $= \frac{\cos w'}{\sin\lambda'}$; man hat also auch

$$\cos w' = \frac{\sin\lambda'}{\sin\lambda}\cos w$$

Diese Gleichung würde vor Nr. 6 den Vorzug grösserer Einfachheit haben, sie liefert aber für die numerische Rechnung in den practisch wichtigsten Fällen, in welchen $w$ und $w'$ klein sind, eine ungünstigere Bestimmung des Winkels. Verbindet man sie dagegen mit 6, so erhält man noch

$$\text{(8)} \qquad \operatorname{tg} w' = \operatorname{tg} w \frac{\sin(p - U)}{\sin(p' - U)}$$

so dass der Rechner die Wahl hat, den Logarithmus der Tangente (welcher beim Uebergang zur folgenden Brechung jedenfalls gebraucht wird) entweder zum vorher gefundenen des Sinus aus der Tafel zu nehmen, oder ihn selbständig aus Zahlen zu bilden, die bereits vorliegen. Für die Controle der Rechnung hätte übrigens die Uebereinstimmung der beiderlei Werthe wenig Gewicht, weil die Gleichung 8 aus der ohnedies benützten Gleichung 6 direct mit Hilfe der Gleichung für $\cos w'$ hervorgeht, diese letztere aber (in der nur Grössen vorkommen, die nahe $= 1$ sind) durchaus kein empfindliches Kriterium abgiebt. Ein ungleich besseres liefert die folgende Gleichung:

$$\text{(I)} \qquad \pm\frac{\sin(S - S')}{\sin(p - p')} = \frac{\sin\lambda \sin w'}{\sin(p - U)} = \frac{\sin\lambda' \sin w}{\sin(p' - U)}$$

vorausgesetzt, dass man nicht blos die Zahlenwerthe der beiden (nach Gleichung 6 identischen) letzten Ausdrücke, sondern auch den des erstern dabei zuzieht. Man überzeugt sich von ihrer Richtigkeit, indem man links Zähler und Nenner mit $\sin w \sin w'$ multiplicirt, im Zähler gemäss Gl. 4 $\lambda' - \lambda$ statt $S - S'$ setzt, im Nenner aber $\sin(p - p')$ $= \sin[(p - U) - (p' - U)]$ auflöst, und für die einzelnen Producte $\sin w \cos(p - U)$, $\sin w' \cos(p' - U)$, $\sin w' \sin(p' - U)$ nach den Gleichungen (1), (7), (6) ihre Werthe setzt. Hieraus erkennt man zugleich, dass das richtige Eintreffen der Gleichung (I) (vorausgesetzt, dass der substituirte Zahlenwerth $\sin(S - S')$ mit $\sin(\lambda' - \lambda)$ übereinstimmt) als eine blosse Consequenz aus den Gleichungen (1), (6), (7) sich ergiebt und nichts als diese controlirt. Andrerseits sind (unter

Voraussetzung, dass die Constanten $R$ und $\frac{n}{n'}$ nicht fehlerhaft sind) die Werthe von sin $S$ und sin $S'$ selbst zugleich mit $u'$ durch die doppelte Berechnung dieser letzteren Grösse nach Gleichung (5) geprüft: es wäre aber noch möglich, dass entweder $S$ oder $S'$ zum richtigen Sinus falsch aufgeschlagen, und dadurch, oder durch ein Versehen in der Bildung ihrer Differenz selbst, $S - S'$ und in Folge dessen auch $\lambda'$ fehlerhaft geworden wäre, ohne dass sich dieser Irrthum durch die bisherigen Controlen verriethe [1]). Eine weitere Controle für die angedeuteten Uebergänge muss deshalb erwünscht sein; ich halte die nachstehende für die bequemste. Man hat

$$\frac{\sin S}{\sin S'} - \frac{\sin S'}{\sin S} = \frac{n'}{n} - \frac{n}{n'}$$

Wenn also gesetzt wird

ad (II) $$\frac{n}{n'} = \operatorname{tg} \omega$$

so ergiebt sich

$$\frac{(\sin S)^2 - (\sin S')^2}{\sin S \sin S'} = \operatorname{cotg} \omega - \operatorname{tg} \omega,$$

das ist

(II) $$\frac{\sin (S - S') \sin (S + S')}{\sin S \sin S'} = 2 \operatorname{cotg} 2\omega$$

Die Grösse zur Rechten ist constant für alle Strahlen gleicher Farbe, welche zwischen denselben beiden Medien gebrochen werden. Hat man die Rechnung für mehrere solche Strahlen gleichzeitig zu führen, so ist es nicht nöthig, die Constante wirklich zu bilden, sondern man hat nur zuzusehen, ob die Grösse links für diese verschiedenen Strahlen einerlei Werth annimmt. Wer selten Fehler begeht und deshalb die Gefahr, eventuell einen grössern Theil des Calculs wiederholen zu müssen, nicht hoch anschlägt, kann überhaupt das Aufschlagen von $\omega$ und cotg $2\omega$ ersparen, so ferne er mit dem gewöhnlichen Falle zu thun hat, in welchem der Strahl an zwei auf einander folgenden Flächen übertritt aus einem Medium $A$ in $B$ und aus diesem wieder in $A$, z. B. aus Luft in eine Glaslinse und aus

1) Wäre $S - S'$ noch richtig und erst $\lambda'$ selbst fehlerhaft, so würde die Probe (I) den Fehler anzeigen. Ebenso auch, wenn zu richtigem cos $\lambda$ und sin $\lambda$ ein falsches $\lambda$ wäre aufgeschrieben worden, dessen Fehler sich auf $\lambda'$ mit übertragen hätte.



dieser direct wieder in Luft. In diesem Falle ist nemlich der Werth von 2 cotg 2 $\omega = \frac{n'}{n} - \frac{n}{n'}$ an den zwei aufeinander folgenden Brechungen der entgegengesetzte, so dass es genügt, sich zu überzeugen, ob auch der Bruch zur Linken in Gl. II. entgegengesetzte numerische Werthe annimmt.

Andrerseits könnte man auch, wenn die Constante 2 cotg 2 $\omega$ berechnet ist, dafür das Aufschlagen von sin $(S-S')$ für die Gleichungen I. und II. ersparen, indem man den Ausdruck dieser Grösse aus der Gl. II. in I. substituiren und so die beiden Controlen in Eine verschmelzen würde. Indessen werden die meisten Rechner vorziehen, ihre Verificationen schon nach den kürzeren Abschnitten evident zu halten. [1])

Wenn es in besonderen Fällen ein Interesse hat (etwa zur Bestimmung der Oeffnung irgend einer brechenden Fläche) den (spitzen) Winkel $\Theta$ zu kennen, welches das Einfallsloth $PM$ mit der Axe einschliesst, — der übrigens nach dem hier vorgeschlagenen Rechnungsgange sonst nicht gebraucht wird, — so findet man ihn wohl am bequemsten durch die Betrachtung, dass die Distanz des Punktes $P$ von unserer durch $M$ gelegten Transversal-Ebene gemessen wird einerseits durch $R \cos \Theta$, andererseits auch durch $\widehat{PQ}. \cos w$. Es ist also $\cos \Theta = \frac{\widehat{PQ}}{R} \cos w$. Setzt man hier statt des Verhältnisses $\frac{\widehat{PQ}}{R}$ zweier Seiten im Dreiecke $PMQ$ das Verhältniss des Sinus ihrer gegenüberliegenden Winkel, so ergibt sich

$$\cos \Theta = \frac{\sin (\lambda + S)}{\sin \lambda} \cos w = \frac{\sin (\lambda' + S')}{\sin \lambda'} \cos w'$$

Die Identität der beiden angesetzten Ausdrücke (eine nothwendige Folge des Umstandes, dass die Normale $PM$ für den gebrochenen Strahl dieselbe Bedeutung hat, wie für den auffallenden) lässt sich auch direct erweisen aus Gl. (4), verbunden mit derjenigen, welche schon oben zur Ableitung von Gl. (8) gedient hat. — Die Bestimmung des kleinen Winkels $\Theta$ durch seinen cosinus ist zwar etwas

1) In keinem Falle kann die Gleichung II. die Prüfung entbehrlich machen, welche man für sin $S$ aus der doppelten Berechnung von $u'$ (Gl. 5.) erhält: denn jene controlirt ihrer Entstehung nach den sin $S$ überhaupt nicht.



ungünstig für die numerische Präcision, man wird aber nicht leicht in den Fall kommen, ihn genau kennen zu müssen, wesshalb ich es unterlasse, hier, wo er weiter nicht vorkommt, eine der minder eleganten Formeln aufzuführen, die zu seiner schärferen Berechnung dienen könnten.

Die bisher aufgestellten Gleichungen enthalten Alles, was auf die Wirkung der einzelnen brechenden Fläche Bezug hat. Trifft nun der bereits gebrochene Strahl auf eine neue solche Fläche, so haben für den Vorgang an dieser letzteren unsere $w'$, p' dieselbe Bedeutung, welche Anfangs den $w$ und $p$ zukam. Bezeichnen wir also durch Buchstaben mit unten angefügten Indices 1, 2, . . . die Grössen, welche für die zweite, dritte etc. Brechung die nehmliche Rolle spielen, wie die gleichnamigen ohne Index für die erste, so wird man haben

$$9)\quad \begin{aligned} w_1 &= w' \\ p_1 &= p' \end{aligned}$$

(dazu auch $n_1 = n'$). Hingegen sind $u_1$, $U_1$ nicht identisch mit $u'$ und $U' = U$, weil diese letztern Coordinaten noch zählen in der Transversalebene, welche durch den Mittelpunct $M$ der ersten brechenden Sphäre gelegt ward, und welcher $Q'$ sowie $Q$ angehört, — während nunmehr der Durchschnittspunct $Q_1$ des einmal gebrochenen Strahles mit der Transversalebene des Mittelpunctes $M_1$ der zweiten brechenden Kugel in Betracht kommt. Die Distanz der letzteren Ebene von der ersten, oder des Punctes $M_1$ von $M$, (natürlich ausgedrückt in gleichem Maase wie $R$ und wie die $u$, $u'$) werde hier mit $D$ bezeichnet: positiv im Falle $M$ auf derjenigen Seite von $M_1$ liegt, von welcher her ursprünglich die Strahlen kommen, und negativ im entgegengesetzten. Will man statt ihrer die (in der Axe gemessene) Dicke $d$ der zwischen den beiden brechenden Flächen gelegenen Schicht einführen, so hat man

$$D = d \mp R \pm R_1$$

wo vor jedem einzelnen der Halbmesser $R$, $R_1$ das obere oder untere Zeichen anzuwenden ist (je nach Lage der Fläche, zu welcher er gehört) conform unserer allgemeinen Regel.

Die bequemste Form für die Berechnung der Grössen $u_1$ $U_1$ erhält man am directesten auf die Art, dass man sich den Punct $Q'$ und das ganze zwischen ihm und $Q_1$ liegende Stück des einmal gebrochenen Strahles der Axe parallel projicirt denkt in die neue durch $M_1$ gelegte Transversalebene. Die Länge der Projection dieses Stückes

ist (abgesehen vom Vorzeichen) $D$ tg $w'$; wenn man also innerhalb der eben gedachten Ebene Abscissen dieser Länge parallel und Ordinaten senkrecht auf ihr rechnet, so ist auch $D$ tg $w'$ der Unterschied der Abscissen beider Endpuncte unseres Stückes, während ihre beiden Ordinaten gleich sind. Aus dieser Betrachtung erhält man die Gleichungen:

$$(10)\left\{\begin{array}{l} u_1 \operatorname{Sin}(p'-U_1) = u' \operatorname{Sin}(p'-U) \\ u_1 \cos(p'-U_1) = u' \cos(p'-U) - D \operatorname{tg} w' \end{array}\right.$$

zur Bestimmung von $u_1$ und $U_1$. (Weil erstere Grösse positiv sein muss, ist der Quadrant von $p'-U_1$ fest gelegt.) Zur Controle kann man die aus beiden abgeleitete Formel benützen:

$$\text{(III)} \qquad \frac{D \operatorname{tg} w'}{\sin(U-U_1)} = \frac{u_1}{\sin(p'-U)} = \frac{u'}{\sin(p'-U_1)}$$

Sind hiernach $u_1$ $U_1$ gefunden, und also $w_1$, $p_1$, $u_1$, $U_1$ nunmehr bekannt, so wiederholen sich in Bezug auf die zweite Brechung alle Rechnungen, welche in Bezug auf die erste nach den Gleichungen 1) bis 7) vorzunehmen waren: man findet so der Reihe nach Grössen $\lambda_1$, $S_1$, $S'_1$ (mit Hilfe von $n_1 = n'$ und $n'_1 = n_2$), $\lambda'_1$, $u'_1$, $w'_1 = w_2$, $p'_1 = p_2$, und wird ganz in derselben Weise auch noch weitere Brechungen verfolgen, wenn solche vorkommen. Zuletzt wird es sich dann darum handeln, zu untersuchen, wo der definitiv gebrochene Strahl die Ebene durchdringt, in welcher das Bild betrachtet werden soll. Zu dem Ende kommen wieder die Formeln 10) in Anwendung; wenn nehmlich in denselben unter $w'$, $p'$ die letzten Werthe dieser Grössen, unter $u'$, $U$ die Polarcoordinaten des Punctes verstanden werden, in welchem er, in seiner schliesslichen Lage, die Transversalebene des letzten Mittelpunctes durchdringt, und wenn jetzt $D$ die Distanz der Bildebene von diesem letzten Mittelpuncte bezeichnet (positiv im Falle die Strahlen bei ihrer ursprünglichen Richtung später auf die Bildebene als auf die Mittelpunctsebene treffen würden), so werden $u_1$ $U_1$ übergehen in die Polarcoordinaten des Punctes der Bildebene, den der austretende Strahl trifft, — und zwar, wie immer, der Radiusvector gerechnet von der Axe aus, und der Polarwinkel rechts herum gezählt aus der Richtung nach oben.

Auch dann sind die Gleichungen 10) anzuwenden, wenn in der ursprünglichen Lage des auffallenden Strahles neben $w$ und $p$ nicht direkt sein Durchschnittspunct mit der Ebene des ersten Mittelpunctes

gegeben wäre, sondern statt des letztern der Punkt, in welchem er durch irgend eine andere auf der Axe senkrechte Ebene passirt, etwa durch diejenige des Kreises, der die erste sphärische Fläche begrenzt, oder auch durch die Ebene eines anvisirten Objectes. Nennen wir $v$, $V$ die Polarcoordinaten in einer solchen Ebene, $\triangle$ den Abstand der letzteren von der Ebene unseres ersten Mittelpunctes $M$, und rechnen wir letztere Grösse positiv in dem Falle, der in der Anwendung der gewöhnlichere sein wird, nämlich von $M$ aus nach der Seite, von welcher die Strahlen ursprünglich kommen, so spielen hier die gegebenen Grössen $w$, $p$, $v$, $V$, $\triangle$ und die gesuchten $u$, $U$ der Reihe nach genau dieselben Rollen, wie die Grössen $w'$, $p'$, $u'$, $U$, $D$, $u_1$, $U_1$ in der vorigen Betrachtung; man wird also haben:

$$u \sin (p-U) = v \sin (p-V)$$
$$u \cos (p-U) = v \cos (p-V) - \triangle \operatorname{tg} w$$

und die Controle

$$\frac{\triangle \operatorname{tg} w}{\sin(V-U)} = \frac{v}{\sin (p-U)} = \frac{u}{\sin(p-V)}$$

Bei dem wirklichen Gebrauche der Formeln wird der Rechner von selbst darauf aufmerksam sein, dass sehr viele der vorkommenden Grössen in ganz gleicher Weise in mehreren Gleichungen auftreten, wodurch die Arbeit bedeutend verringert wird. Wenn z. B. nach den letzten Gleichungen Cosinus und Sinus $(p-U)$ gefunden worden sind, so dient der Cosinus direct wieder in Gl. 1), der Sinus in Gl. 6) und in 8); ebenso kommen die nach 6) und 7) berechneten Sinus und Cosinus von $p'-U$ wieder vor in 10), der Sinus auch noch in 8); die Differenz $S-S'$ in Gl. 4) und ihr Sinus in den Controlgleichungen I. und II.; das Verhältniss $\frac{\sin \lambda}{\sin \lambda'}$ in 5), und sein reciproker Werth in (6), sowie auch in der Gl. für $\cos w'$, und dergleichen mehr. —

Es gibt einen Ausnahmsfall, in welchem die von uns gewählte Art, die Lage des Strahles zu bestimmen, nicht anwendbar ist, nämlich den Fall einer brechenden Planfläche. Hier würde die zugehörige Mittelpunctsebene in's Unendliche fallen, und damit den Dienst versagen. Dafür bietet sich von selbst die Aushilfe dar, hier unsere Transversalebene mit der brechenden Ebene coincidiren zu lassen, d. h. für $u$, $U$ die Polarcoordinaten desjenigen Punctes zu wählen, in welchem die Planfläche vom Strahle getroffen wird. Sind dieselben

nicht im Voraus gegeben, so werden sie, wenn noch keine Brechung vorausgegangen ist, nach den letzten Gleichungen, im andern Falle nach den Gleichungen 10) berechnet: natürlich muss jetzt für $\triangle$ oder $D$ derjenige Werth genommen werden, welcher der Distanz von der vorher betrachteten Transversalebene bis an die brechende Ebene selbst entspricht. Durch die Brechung an dieser werden dann $u$, $U$ beide nicht verändert, weil der Auffallspunkt auch dem gebrochenen Strahle angehört; man hat also hier $u' = u$. Auch die übrigen Gleichungen der Brechung vereinfachen sich. Weil nämlich das Einfallsloth der Axe parallel wird, so ist hier $S = w$ und $S' = w'$; man hat daher einfach

$$\sin w' = \frac{n}{n'} \sin w$$

und dazu $$p' = p$$

weil die Brechungsebene, welche der Strahl nicht verlässt, hier selbst durch die in seinem Auffallspunkte der Axe parallel gezogene Grade geht. Es sind also die vier Bestimmungsstücke für die Lage des gebrochenen Strahles bekannt ($w'$, $p' = p$, $u' = u$, $U$); hat man Anlass, seinen Weg noch weiter zu verfolgen, und zu dem Ende eine neue Transversalebene einzuführen, so dienen abermals die Gleichungen 10) in der Weise, dass der eine Endpunkt der Distanz $D$ in der brechenden Planfläche selbst liegt.

Die vorstehenden Rechnungsvorschriften (welche natürlich auch den speciellen Fall eines in der Axenebene gelegenen Strahles mit umfassen) schliessen sich in ihrer Gestalt sehr nahe denjenigen an, welche für den eben gedachten besondern Fall im allgemeinen Gebrauch sind. Ich muss indessen zum Schlusse bemerken, dass ich für die eigentlich angemessene (d. h. der Natur der Aufgabe am besten entsprechende) Art, in oder ausser der Axenebene den Gang des Lichtes durch optische Apparate rechnerisch zu verfolgen, eine wesentlich andere halte, nach welcher man direct nicht die ganzen Grössen sucht, welche die Lage eines Strahles nach beliebig viel Brechungen bestimmen, sondern nur ihre Abweichungen von denjenigen Werthen, die nach den Näherungsformeln (ersten Grades) stattfinden würden. Nach diesem Verfahren hat man nur mit kleinen Grössen zu agiren, die durch wenige Decimalen genau genug gefunden werden, weil sie unmittelbar Das repräsentiren, was uns im optischen Bilde als Fehler

erscheint. Auch diese Behandlung der Aufgabe ist eleganter Ausdrücke fähig, welche in einer ganz analogen Beziehung zu denjenigen der früher von mir entwickelten Fehler dritter Ordnung (im allgemeinen Falle des Raumes) stehen, wie die „Gleichungen mit endlichen Differenzen" zu den Differentialformeln. Indessen entfernt sich das angedeutete Verfahren ziemlich stark von der rechnerischen Gewohnheit der Optiker, deren praktisches Bedürfniss ich bei der gegenwärtigen Publication zunächst im Auge habe; ich verspare daher das Nähere für eine andere Gelegenheit.

---

# Kleinere Mittheilungen.

## Mittheilungen von Prof. Dr. Dellmann in Kreuznach.

### I. Berichtigung.

In dem Aufsatze über den Thomson'schen Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Electricität ist beim Abschreiben ein Fehler entstanden und durch Copiren der Zeichnung ebenfalls eine Auslassung, nämlich in Fig. 1.

Der Fehler im Texte ist S. 12 unten, wo gesagt ist, es sei bereits angegeben, wie man am besten zwei Electrometer mit einander vergleiche; dies ist aber ausgelassen. Man macht es so:

Hat man die Zuleiter beider Electrometer durch einen Draht verbunden, so gibt man ihnen eine beliebige gemeinsame Ladung, etwa mit einer geriebenen Korkscheibe, welche man am Lackstiele haltend mit dem Drahte in Berührung bringt, der die Zuleiter verbindet. Dann liest man beide Electrometer ab und notirt sich die Zahlen. Wiederholt man diese Operation oft genug und nimmt dann aus allen Quotienten, welche je zwei zusammengehörige Werthe ergeben, das Mittel, so erhält man ziemlich genau den Empfindlichkeits-Quotienten.

In Fig. 1 muss die mittlere Linie zwischen $n$ rechts und $b'$ verdickt werden, um die Leiste zu veranschaulichen, welche sich in der Nuth bewegt.

---

### II. Benachrichtigung.[1])

Herr Dr. Ph. Carl in München war so freundlich, mir eine in seinem Etablissement angefertigte Copie meines Electrometers zur Prüfung zu übersenden. Ich muss diese Arbeit in jeder Beziehung lobend anerkennen. Alles ist sauber und exact; auch die grossen

1) Der Herausgeber glaubt diese Notiz in der eingesandten Form wörtlich zu geben, ohne den Vorwurf einer Reclame auf sich zu laden. C.

Schrauben von 4 bis 5 Zoll Durchmesser, obgleich sehr fein geschnitten, sind doch leicht gangbar. Hr. Carl hat eine Verbesserung angebracht, welche nicht unerheblich ist, da sie das Adjustiren erleichtert. Es sind dies Schrauben, mit welchen das Leder zusammengedrückt wird in den Büchsen, welche an beiden Enden das Glasrohr für den Glasfaden umgeben. Lüftet man eine derselben, so lässt sich das Rohr leicht drehen bis zur richtigen Einstellung. Ist diese erreicht, so dreht man die Schraube wieder an, um das Rohr in dieser Stellung fest zu halten. Die Kreistheilungen sind, obgleich die eine nur etwas über zwei Zoll Durchmesser hat, scharf und möglichst genau. Dem Mechanismus oben am Kopfe des Instrumentes hat Hr. Carl besondere Sorgfalt gewidmet.

Bei dieser Gelegenheit sei es mir erlaubt, auf die Vortheile aufmerksam zu machen, welche meine Construction vor der von Kohlrausch voraus hat. Sie sind:

1) Leichtigkeit und Sicherheit des Ablesens. Die Platte des untern getheilten Kreises, über dem der Wagebalken sich bewegt, ist polirt, ist also ein Spiegel. Man nimmt zum Ablesen eine Lupe, welche auf den Rand des Gefässes gesetzt deutlich den Wagebalken und dessen Bild zeigt. Lässt man beide beim Ablesen zusammenfallen, so vermeidet man auf die bequemste Weise sicher die Parallaxe. Misst man, was fast immer vorzuziehen ist, mittelst der Aufschlagswinkel, so braucht man bekanntlich den obern Zeiger nur auf Null und 90 Grad zu stellen. Um dies leicht und sicher bewerkstelligen zu können, ist oben an den Bügel zum Heben und Senken des Wagebalkens ein Stift angeschraubt, an welchen zwei Arme des Haspels schlagen, der zum Drehen des Glasfadens dient. Man braucht vermöge dieser Vorrichtung oben gar nicht abzulesen.

2) Sicherung der Genauigkeit der Messung. Soweit diese vom Schellack abhängt, ist dafür gesorgt, dass dieser im ganzen Umkreise des Centrums des untern Theilkreises wirken muss, dass also die Wahrscheinlichkeit einer Störung durch ihn nach allen Richtungen gleich gross ist, indem der Zuleiter mit einer kleinen cylindrischen Lacksäule in eine Messingbüchse eingekittet wird. Da diese Lacksäule einen kleinen Durchmesser hat und der Wagebalken noch etwa 8 bis 9 Linien von ihr entfernt bleibt, so ist ohnehin die Möglichkeit der Störung durch Lack sehr gering. Um die Störungen durch Luftströmungen zu vermeiden, ist das Gefäss zur Aufnahme des Wage-

balkens von sehr dickem Messingguss und dann noch mit einem Metallschirm umgeben. Correctionen wegen der Lufströmungen fallen bei meinem Instrumente fort. Eine weitere Genauigkeit wird herbeigeführt durch die Art und Weise, wie die beiden Hauptkörper, Streifchen und Wagebalken, in Contact gesetzt werden. Das Bewegungsmittel dazu ist eine Schraube, welche eine weit grössere Sicherheit gestattet, als der Hebel.

3) Das ganze Instrument ist so construirt, dass es leicht auseinander genommen werden kann, leicht herzustellen und zu behandeln ist. Das Centriren des Zuleiters, für welches Kohlrausch einen complicirten Mechanismus unter dem Boden des Gefässes anbringen liess, wird einfach bei meiner Construction vollzogen durch einen kleinen Metall-Cylinder mit einem concentrischen Röhrchen, in welches das obere Ende des Zuleiters genau passt. Ist der Zuleiter nach dem Augenmaass eingekittet, so erwärmt man ihn am untern Ende so weit, dass er sich steif in dem Lack, welcher ihn umgibt, bewegen lässt, und drückt dann sein oberes Ende in das Röhrchen des kleinen Cylinders, welcher genau passt in die centrale kreisförmige Oeffnung des untern Theilkreises. Mit dem kleinen Cylinder ist auch leicht zu controliren, ob der Zuleiter richtig centrirt ist. Der horizontale Stift im Kopfe der Schraube zum Heben und Senken des Wagebalkens dient nicht bloss zum Drehen der Schraube, sondern auch als Zeiger, indem man ihn auf irgend eine Marke richtet, welche an dem Bügel angebracht ist, durch den die Schraube geht.

---

## Wilde's magnetelectrische Maschine.

(Hiezu Tafel IX. Figg. 1 — 4.)

Die Wilde'sche magnetelectrische Maschine, welche in der jüngsten Zeit in England so grosse Anerkennung gefunden hat, ist auf Tafel IX Fig. 1 in der Seitenansicht, in Fig. 2 in der Vorderansicht dargestellt; in beiden Figuren sind dieselben Theile durch die gleichen Buchstaben bezeichnet. *a*, *a*, *a*, *a* sind 16 permanente Magnete, die an dem Magnetcylinder *b*, welchen Fig. 3 vergrössert darstellt, verbunden sind. Jeder der Magnete wiegt gegen drei Pfund und kann ein Gewicht

von etwa 20 Pfund tragen. Der Theil *bb* des Magnetcylinders ist von Eisen, *cc* von Messing, und es ist die Anordnung getroffen, dass das Stück *bb*, wenn es bei *d* an die bezüglichen Pole der Magnete geschraubt ist, für die 16 Magnete, welche von einander durch die Messingstücke *c* getrennt sind, einen gemeinschaftlichen Nord- und Südpol bildet. Ein kreisförmiges Loch mit einem Durchmesser von $2^1/_2$ Zollen ist der Länge nach durch die Metalle gebohrt, so dass sie im Innern einen Hohlcylinder von Messing und Eisen bilden. Fig. 4 zeigt die Armatur, welche im Querschnitte schon an ihrem Platze im Innern des Hohlcylinders in Fig. 3 sichtbar ist. Sie besteht aus einem gusseisernen Cylinder, dessen Durchmesser etwa um $^1/_{20}$ Zoll kleiner als die Höhlung im Cylinder *b*, *c*, *b*, *c* ist, so dass sie sich sehr nahe an der innern Wand des Hohlcylinders umdrehen kann, ohne diese zu berühren; an jedem Ende ist sie durch geeignete Messinglager gehalten, in welchen sich die Axe des Cylinders dreht. Am einen Ende der Armatur befindet sich eine cylindrische Verlängerung *d*, an welcher eine Rolle wirkt, und am anderen Ende ist ein Commutator angebracht. Bänder von Messingblech *ff* sind in Abständen rings um die Armatur so befestigt, dass sich dazwischen Rinnen bilden, welche den Zweck haben, bei rascher Rotation eine Verwirrung der isolirten Drähte zu verhindern.

Mittelst des schmalen Riemens *e* legt die Armatur im Innern des Magnetcylinders etwa 2500 Umdrehungen in der Minute zurück. Bei jeder Umdrehung werden zwei entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme in dem die Armatur umgebenden isolirten Kupferdrahte inducirt. Diese alternirenden Ströme werden mittelst des Commutators bei *g* in einen intermittirenden Strom von beständig gleicher Richtung verwandelt, der in den Drähten *h* weiter geleitet wird.

Die electromagnetische Maschine, womit das Licht hervorgebracht wird, hat genau dieselbe Construktion wie die eben beschriebene magnetelectrische Maschine, nur mit der Ausnahme, dass an die Stelle der permanenten Magnete *a*, *a* ein Electromagnet *i* gesetzt ist. Der Electromagnet *i* (Figg. 1 und 2) wird von zwei rechtwinkligen Platten *j* aus gewalztem Eisen gebildet, welche durch die punctirten Linien angezeigt sind und 36 Zoll in der Länge, 26 Zoll in der Breite und 3 Zoll in der Dicke haben. Diese sind parallel zu einander an den Seiten des Magnetcylinders *k* mittelst der Bolzen *l* verbolzt und die Platten sind an ihrem oberen Ende dadurch mit einander ver-

bunden, dass sie an einer Brücke verbolzt sind, welche aus doppelt so dickem Eisen wie das der Seiten bestehen. Alle den Electromagnet bildenden Theile sind vollkommen eben, um einen innigen metallischen Contact durch die ganze Masse zu erhalten.

Jede Seite des Electromagneten ist mit einem isolirten Leiter umwickelt, der aus einer Rolle von sieben einander parallelen Kupferdrähten besteht. Die Länge des um jede Seite des Electromagneten gewickelten Leitungsdrahtes beträgt 1,650 Fuss. Zwei Enden der Windungen sind der Art mit einander verbunden, dass sie einen ununterbrochenen Leiter von 3,300 Fuss Länge bilden; die anderen Enden der Windungen gehen zu zwei isolirten metallenen Ständern *m*, *m*, die an der hölzernen Deckplatte der Maschine befestigt sind und hier mit den Drähten *h*, *h* in Verbindung stehen. Das Gesammtgewicht der beiden Kupferdrahtwindungen beträgt ohne das Eisen eine halbe Tonne. Der Durchmesser der Höhlung im Magnetcylinder beträgt 7 Zolle, ihre Länge 35 Zolle. Die einzelnen Theile des Cylinders sind an der Deck- und Boden-Platte mittelst zwölf Kupferbolzen *n* befestigt, die einen Durchmesser von drei Viertel-Zollen haben. Die Armatur *o* ist etwa um ein Achtel-Zoll kleiner als der Durchmesser der Bohrung im Magnetcylinder; sie ist mit einem isolirten Kupferdrahte von 350 Fuss Länge und ein Viertel-Zoll Durchmesser umwickelt, wie dies aus Fig. 3 ersichtlich ist. An das eine Ende der Armatur schliesst sich eine Rolle *d* von 7 Zoll Durchmesser an, am anderen Ende sind zwei gehärtete Stahlbänder *p*, *p'* befestigt, deren eines von der Axe der Armatur isolirt ist. Diese Bänder bilden einen Theil des Commutators, vermittelst welches die alternirenden Ströme in einen intermittirenden Strom von stets gleicher Richtung verwandelt werden. Diese das Licht erzeugenden Ströme gehen von den Stahlbändern durch die Federn *g*, *g* zu den Schraubenmuttern bei *r* und können von diesen aus durch die Leiter *s*, *s* an einen beliebigen Punct geführt werden.

Die Armatur der siebenzölligen Maschine wird von derselben Stange wie die magnetelectrische Maschine mittelst des Riemens *t* in der Minute 1,800 mal umgetrieben. Die Oelgefässe sind bei *u* in den Figuren ersichtlich. Das Gesammtgewicht der ganzen Maschine beträgt etwas mehr als eine Tonne.

Die Wirkung der Maschine ist aus dem bisher Gesagten leicht verständlich. Die von den permanenten Magneten *a*, *a*, *a* in der

rotirenden Armatur der kleinen Maschine inducirte Electricität wird mittelst der Drähte *h*, *h* in die Windungen des grossen Electromagneten der Maschine übergeleitet, deren Eisenplatten und Magnetcylinder eine bedeutende Menge Magnetismus erhalten. Gleichzeitig wird eine entsprechend grössere Menge Electricität in den Drähten der grösseren Armatur erzeugt, und dieser electrische Strom wird zur Darstellung des Lichtes verwendet. Ist die Maschine in voller Thätigkeit, so fordert sie zum Treiben eine Dampfmaschine von drei Pferdekräften und in der Lampe verbrennen Kohlenstücke von wenigstens $^3/_8$ Zoll im Quadrat. Die Lichtmenge, welche die Maschine gibt, wird dadurch regulirt, dass man kleine Eisenstücke an den kleinen Magnetcylinder *bb* bringt, wodurch die entgegengesetzten Pole verbunden werden und die Stärke des inducirten Stromes in der Armatur entsprechend abnimmt.

(Quarterly Journal of Science No. XII.)

---

## Neue Entdeckung auf dem Gebiete der Electricitätslehre.

In der Sitzung der Royal Society vom 14. Februar wurden zwei wichtige Abhandlungen über Electricität vorgelegt, welche fast den gleichen Gegenstand behandeln und zeigen, wie dieselbe Idee durch zwei bedeutende Electriker zu einer wichtigen Entdeckung entwickelt wurde — einer Entdeckung, die in Bezug auf das Princip die gleiche ist, allein völlig verschieden in Bezug auf die erhaltenen Resultate, sowie auf die instrumentalen Hilfsmittel, welche zur Erreichung des gewünschten Zieles gewählt wurden.

Die eine Abhandlung war von C. W. Siemens und trug den Titel: „On the Conversion of Dynamical into Electrical Force, without the aid of permanent Magnetism.“ Der zu den Experimenten verwendete Apparat war eine electromagnetische Maschine, die aus einem oder mehreren Hufeisen von weichem Eisen, welche auf die gewöhnliche Weise mit isolirtem Kupferdrahte umwickelt waren, ferner aus einem rotirenden Anker von weichem Eisen, der gleichfalls von isolirtem Drahte umgeben war, sowie einem Commutator bestand, welcher die bezüglichen Windungen nach Art einer magnetelectrischen Maschine verband. Wird mit dieser Vorrichtung eine galvanische Batterie verbunden, so wird eine Rotation des Ankers in einer gegebenen Richtung

erfolgen. Wird aber die Batterie aus dem Schliessungskreise ausgeschaltet und der Anker in Rotation nach einer Richtung versetzt, welche der vom galvanischen Strome erzeugten entgegengesetzt ist, so würde, wenn die Electromagnete absolut keinen Magnetismus besässen, keine electrische Wirkung erzeugt; allein durch Einschalten einer Batterie von nur einem einzigen Elemente in den Schliessungskreis wird eine gewisse Quantität remanenten Magnetismus vorhanden sein, durch welchen ähnliche electromagnetische Pole alternirend kräftig erregt werden, während die Rotationsrichtung derjenigen entgegengesetzt ist, welche durch den erregenden Strom erzeugt wird.

Anstatt eine Batterie anzuwenden, um die accumulative Wirkung der Maschine zu beginnen, reicht es hin, die verwendeten weichen Eisenstäbe mit einem permanenten Magnet zu berühren, oder den einen in eine zur magnetischen Axe der Erde (der Richtung der Inclinationsnadel) parallele Lage zu bringen, wodurch die gleiche Erscheinung wie zuvor hervorgebracht werden kann. Practisch war es nicht einmal nöthig, zur Erregung der Maschine einen äussern Impuls anzuwenden, indem der remanente Magnetismus der verwendeten electromagnetischen Vorrichtungen hinreichend für diesen Zweck befunden wurde.

Die für die Erzeugung dieser Ströme am geeignetsten scheinende mechanische Vorrichtung war die im Jahre 1857 von Dr. Werner Siemens construirte, welcher aus einem cylindrischen Anker bestand, der für die Aufnahme des longitudinal aufgewundenen isolirten Drahtes ausgehöhlt war und welcher zwischen den Polen einer Reihe von permanenten Magneten rotirte, welch' letztere für den gegenwärtigen Zweck durch Electromagnete ersetzt wurden. Wurde die Armatur dieser Vorrichtung in Rotation versetzt, so wuchs der mechanische Widerstand rasch zu einer solchen Höhe, dass jeder der Treibriemen abzugleiten anfing, oder es wurde der die Windungen bildende isolirte Draht so stark erhitzt, dass die denselben umgebende isolirende Schicht sich entzündete. Man konnte also auf rein mechanischem Wege die stärksten electrischen und Wärme-Wirkungen ohne Hilfe von Stahlmagneten erzeugen.

Die zweite oben genannte Abhandlung war von Professor Wheatstone und trug den Titel: „On the Augmentation of the Power of a Magnet, by the Reaction thereon of Currents induced by the Magnet itself.“ Bei der zu diesen Experimenten gebrauchten magnetelectrischen

Maschine wurde der Kern des Electromagneten aus einem Stabe aus weichem Eisen von 15 Zoll Länge und $^1/_2$ Zoll Breite gebildet, welcher in der Mitte zu einem Hufeisen umgebogen war. Er war mit 640 Fuss isolirten Kupferdrahtes von $^1/_{12}$ Zoll Dicke umwickelt. Die Armatur bestand aus einem rotirenden Cylinder von weichem Eisen, der $8^1/_2$ Zoll lang und ausgehöhlt war, so dass der auf ihn longitudinal aufgewundene Draht hindurchging; die Länge dieses Drahtes betrug 86 Fuss, seine Dicke ist der des auf den Electromagneten aufgewundenen Drahtes gleich.

Werden nun die Drähte der beiden Schliessungskreise so verbunden, dass sie einen einzigen Schliessungskreis bilden, so wirken in diesem die von der Armatur erzeugten Ströme, nachdem sie in die gleiche Richtung gebracht worden sind, derart, dass die vorhandene Polarität des Electromagneten zunimmt. Dabei muss die zum Bewegen der Maschine angewandte Kraft sehr gross sein, wenn eine beträchtliche Zunahme des Magnetismus im Hufeisen erhalten werden soll. Die hieraus folgende Existenz eines starken Stromes im Drahte kann durch die Einwirkung auf ein Galvanometer, durch die Erwärmung eines vier Zoll langen Platindrahtes von 0,0067 Zoll Dicke, ferner dadurch nachgewiesen werden, dass durch ihn ein starker Electromagnet hergestellt und Wasser zersetzt werden kann etc.

Die Erklärung dieser Wirkungen ist folgende: der Electromagnet behält immer eine kleine Quantität remanenten Magnetismus und vertritt so die Rolle eines schwachen permanenten Magneten. Die Bewegung der Armatur veranlasst in ihren Windungen schwache Ströme von entgegengesetzten Richtungen, welche, nachdem sie in die gleiche Richtung gebracht sind, in die Umwindung des Electromagneten gehen und so eine Zunahme des Magnetismus des Eisenkernes erzeugen. Indem der Magnet so einen Zuwachs an Kraft erhält, erzeugt er in den Windungen der Armatur stärkere Ströme und diese wechselseitigen Einwirkungen gehen fort, bis ein Maximum erreicht ist, das von der Schnelligkeit der Bewegung und der Capacität des Electromagneten abhängt.

Wir haben hierdurch also eine Analogie zwischen der Zunahme der Kraft eines schwachen Magneten mittelst einer inducirenden Einwirkung, die er auf sich selbst ausübt, und der Influenzelectrisirmaschine, welche in der neuesten Zeit die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich lenkte. (The Quarterly Journal of Science No. XIV. April 1867.)

---

## Der Meteorograph von Secchi.

Der Meteorograph von Secchi, welcher sich auf der Pariser Ausstellung befindet und dort die allgemeine Bewunderung der Beschauer erregt, ist ein Registrirapparat für alle meteorologischen Erscheinungen. Der Apparat zeigt zwei Hauptfronten, welche zu verschiedenen Registrirungen dienen.

Die erste Fronte ist mit einem Uhrwerke versehen und schliesst ein Tableau ein, das dazu dient, die Angaben des Barometers, des trockenen und feuchten Thermometers, sowie der Zeit und der Qualität des gefallenen Regens aufzunehmen. Es rollt sich in zwei und einem halben Tage ab und zeigt dabei sehr deutliche Curven, aus denen man die Details der Erscheinungen, selbst bei Windstössen, entnehmen kann.

Das Barometer ist ein Wagbarometer mit gleichen Armen; die Röhre ist am einen Arme des Wagbalkens aufgehängt und schwebt frei im Quecksilber — sie wird durch ein am anderen Arme aufgehängtes Gegengewicht äquilibrirt. Die Röhre besteht aus Schmiedeeisen und ist im Innern genau cylindrisch. Der Durchmesser des oberen Theiles für die Barometerleere beträgt $0^{m},060$, der der Röhre $0^{m},020$. Ein hölzerner Cylinder oder Mantel, der am untern Theile der Röhre befestigt ist, taucht in das Gefäss und trägt den grössten Theil des Gewichtes des Instrumentes; man realisirt so die hydrostatischen Bedingungen, nach welchen Gleichgewicht mit dem Luftdrucke hergestellt werden kann. Ein zweiter Hebelarm, der sich nahe am unteren Theile der Röhre befindet, verhindert eine Abweichung desselben von der verticalen Lage. Die Drehungsaxe des Wagbalkens hat an ihren beiden Enden Verlängerungen, an denen sich zwei Watt'sche Parallelogramme befinden, welche die Bleistifte zum Ziehen der Curven tragen. Diese Stifte werden durch Federn getragen, die mit dem horizontalen Stabe des Parallelogramms verbunden sind. Die Barometercurven werden an beiden Tableaus zugleich gezeichnet; die Scala ist etwa $4^{mm},5$ für $1^{mm}$; man kann sie jedoch willkürlich ändern, dadurch dass man dem Schwimmer einen andern Durchmesser gibt.

Thermometer und Psychrometer. — Das Psychrometer besteht aus den zwei Quecksilberthermometern, dem trockenen und dem feuchten. Beide Thermometer sind an ihrem oberen Ende offen; ein in das Glas eingeschmolzener Platinfaden setzt das im Gefäss

befindliche Quecksilber mit dem electrischen Strome in Verbindung. Zwei in einem vertical beweglichen Rahmen befindliche Platindrähte gehen in die Capillarröhre der Thermometer und kommen mit der Spitze der Quecksilbersäule in Berührung, um deren Höhe am Tableau zu pointiren. Die Uhr setzt zu jeder Viertelstunde mittelst eines Räderwerkes am Schlagwerke einen Schlitten in Bewegung, der den Stift eines Morse-Telegraphen trägt. Diese Bewegung wird durch eine Excentric erzeugt, die sich an der Axe des zweiten Rades befindet, welches in jeder Viertelstunde einen Umgang zurücklegt; durch diese Excentric wird ein langer dreiwinkeliger Hebel in Bewegung gesetzt. Dieser Hebel trägt eine Rolle, an der das Ende eines Stahldrahtes befestigt ist, dessen anderes Ende mit dem Rahmen der Thermometer in Verbindung steht. Die Bewegungen des Schlittens und des Rahmens hängen also von einander ab: nur ist die des Schlittens durch einen längeren Hebelarm vergrössert. Der angezogene Schlitten lässt dann den Rahmen sinken. In dem Augenblicke, wo der Platindraht die Spitze der Quecksilbersäule des trockenen Thermometers berührt, wird der Strom im Electromagneten des Schlittens geschlossen und die angezogene Armatur markirt am Tableau einen Punct, der den Anfang einer Linie bildet, welche die Thermometerstände repräsentirt. Während sich der Schlitten weiterbewegt, kommt der zweite Platinfaden in Berührung mit der Säule des feuchten Thermometers; der Strom wird im Uebertragungsrelais, das sich unter dem Schlitten befindet, geschlossen und unterbricht den Schliessungskreis des Electromagneten — der Stift geht zurück und hört so auf eine Linie zu ziehen. Während der Schlitten zurückgeht, schliesst und öffnet er den Strom im entgegengesetzten Sinne und man erhält einen zweiten Punct, das Ende der Linie. Man hat so eine doppelte Reihe von auf zwei Curven angeordneten Puncten; die eine Curve repräsentirt den Gang des trockenen, die andere den des feuchten Thermometers. Da die Angaben jede Viertelstunde erhalten werden, so sind die Curven fast ganz continuirlich und reichen für die Beobachtung der gewöhnlichen meteorologischen Vorgänge aus.

Regen. — Die Zeit des Regens wird im gleichen Tableau mittelst eines Electromagneten markirt, dessen Bewegungen durch ein kleines Rad mit Schöpfgefässen erzeugt werden, das man unter eine an einem beliebigen Puncte des Gebäudes angebrachte Rinne stellt und das bei seinen Umdrehungen den galvanischen Strom öffnet und schliesst.

Die Regenmenge wird in einem Gefässe gemessen, das sich im unteren Theile des Apparates befindet. Das durch einen am Dache angebrachten Trichter aufgesammelte Wasser kommt durch eine Röhre in dieses Gefäss und hebt einen Schwimmer, der ein mit einem Index, welcher an einer getheilten Scala vorbeigeht, versehenes Lineal trägt.

Das am Schwimmer befestigte Lineal trägt eine Kette, die sich auf einer mit einer Papierscheibe versehenen kreisförmigen Rolle aufrollt; die Drehung der Rolle ist der Höhe des gefallenen Regens proportional. Ein an einem beweglichen Träger in der Verlängerung des Halbmessers des Rades befestigter Bleistift durchläuft etwa $5^{mm}$ in einem Tage, so dass man die entsprechende Regenmenge an jedem Tage an einer anderen Stelle des Rades markirt findet.

Das Reservoir hat einen Durchmesser von $0^{m},19$, der Trichter einen solchen von $0^{m},38$; die Oberfläche des Trichters ist also gleich der vierfachen Oberfläche des Reservoirs. Man hat demnach die vierfache Regenhöhe und verfügt über eine hinreichend starke Kraft, um die Reibung des Bleistiftes zu überwinden.

Das Tableau, welches die zweite Fronte trägt, dient zur Registrirung der Stärke und Richtung des Windes, sowie daselbst die Angaben eines Metallthermometers und die des Barometers und Regens wiederholt werden. Es geht zehn Tage lang und sein Hauptvortheil besteht darin, ein Resumé der Veränderungen dieser Elemente zu bieten, wodurch eine leichtere Vergleichung derselben ermöglicht wird.

Windrichtung. — Die Richtung des Windes wird durch eine Windfahne gegeben, deren Vordertheil winkelförmig ist, um die Schwankungen zu vermindern, und durch eine Rose aus vier mit Platin belegten metallenen Sectoren, an welche sich eine an der Stange der Windfahne befestigte Feder andrückt. Der Apparat ist mit vier Telegraphen versehen, deren Electromagnete mit den vier Sectoren in Verbindung stehen; jeder Telegraph gibt so eine der vier Hauptwindrichtungen, wenn die Windfahne seinen Stromkreis schliesst. Die zwischen den vier Hauptrichtungen liegenden Winde werden durch die Combination zweier benachbarter Winde erhalten. Diese Combination wird theils durch die Oscillation der Windfahne, theils durch die gleichzeitige Anzeige zweier Telegraphen hergestellt.

Die Erfahrung hat bewiesen, dass dieses System in der Praxis den gegenwärtigen Bedürfnissen der Meteorologie völlig Genüge leistet.

Die Oscillation der den Bleistift tragenden Stange wird bei jedem

Umlaufe des Windflügels erzeugt, welcher die Stärke des Windes misst, worauf wir nun zu sprechen kommen.

Windstärke. — Die Geschwindigkeit des Windes wird durch einen Robinson'schen Flügel mit halbkugelförmigen Schalen gegeben und auf folgende Weise durch die Electricität registrirt.

Der Windflügel trägt an seiner Axe eine Excentric, mittelst welcher er den galvanischen Strom unterbricht. Der Apparat hat drei Zählwerke, welche durch den Strom in Bewegung versetzt werden. Der Strom geht durch den mittleren Zähler, welches auch die Windrichtung sein mag, und bei jedem Umgange des Windflügels geht das Echappementrad des Zählers um einen Zahn durch die Einwirkung des electrischen Stromes weiter. Dieser Zähler gibt also die Anzahl der Umläufe des Windflügels unabhängig von der Richtung des Windes an. Diese Geschwindigkeit kann durch das berechnete Verhältniss der Arme des Windflügels, wovon ein Umgang einer Windgeschwindigkeit von 10 Meter entspricht, in Kilometer übertragen werden. Das zweite Zifferblatt des Zählers markirt die Kilometer, welchen man jeden Mittag notirt.

Die Registrirung der Geschwindigkeit des Windes am Tableau wird zu jeder Stunde auf folgende Weise erhalten.

Das dritte Rad des Zählers trägt eine Rolle, welche durch einen Zahn mit einem an der gleichen Axe befestigten Sperrrade verbunden ist. An diese Rolle ist eine Kette angebracht, welche je nach dem vom Rade durchlaufenen Wege und je nach der Geschwindigkeit des Windes in einer mehr oder weniger grossen Länge aufgerollt ist. Die Kette wirkt mittelst Uebertragungsrollen auf einen Bleistift, der an einem Parallelogramm befestigt ist, das seinen Weg am Tableau regulirt. Der von der Kette fortgezogene Bleistift zieht am Tableau eine mehr oder weniger lange Linie, je nachdem ein mehr oder weniger grosser Theil der Kette auf die Rolle aufgewunden ist. Am Ende einer Stunde macht eine an der Hauptaxe des Schlagwerkes der Uhr befestigte Excentric die in ununterbrochener Bewegung befindliche Rolle vom Rade des Zählers los. Gleichzeitig bringt ein am Parallelogramm angebrachtes Gegengewicht den Bleistift zum Ausgangspunct zurück. Alle Linien gehen auf solche Weise von derselben Axe aus.

Der mittlere Zähler, welcher das Gegengewicht zurückziehen muss, wird selbst wieder durch ein Gewicht bewegt; die beiden

anderen sind durch die einfache Oscillation der Armatur in Bewegung versetzt. Sie dienen dazu, Winde von speciellen Richtungen zu studiren, z. B. den Süd und den Nord besonders, oder jedes andere Azimut, je nach der Willkür des Beobachters, was an gewissen Localitäten viel Interesse hat.

Thermograph. — Dieser Apparat wird von einem der äusseren Luft ausgesetzten Kupferdraht gebildet; seine Ausdehnungen und Zusammenziehungen wirken auf einen Hebel am Apparate und erzeugen Curven, welche die Variationen der Temperatur in summarischer Weise geben. Der thermometrische Draht hat 16 Meter Länge. Unter sehr ungünstigen Verhältnissen (im Pariser Industriepalaste) aufgestellt, ist er über einen Tannenbalken von 8 Meter gespannt, dessen sehr geringe Ausdehnung vernachlässigt werden kann; er ist oftmals der Sonne direct ausgesetzt, was beträchtliche Variationen, die man am Tableau wahrnimmt, nach sich zieht. In den Observatorien muss der Draht im Schatten befestigt und vor den directen Sonnenstrahlen geschützt werden; es gibt dann dieses System die Variationen der Temperatur auf $^1/_4{}^0$ genau.

Das Instrument gibt indirect auch die Beschaffenheit des Himmels an; denn bei bedeckten und regnerischen Tagen sind die Temperatur-Schwankungen sehr gering, während die Angaben des Barometers und der Zeit des Regens mittelst der beim ersten Tableau beschriebenen Mechanismen wiederholt werden.

Die Aufstellung im Pariser Industriepalaste ist unzweckmässig, nichts destoweniger functionirt der Apparat ganz gut. Ein ähnlicher Apparat ist seit sieben Jahren am Observatorium des Collegium Romanum aufgestellt und hat sich dort vorzüglich bewährt. Als galvanische Säule wird die Daniel'sche wegen ihrer Constanz gebracht.

(Les Mondes, 9 Mai 1867.)

---

## Roullions galvanische Batterie.

Roullion hat eine galvanische Batterie construirt, bei welcher an die Stelle des Platin oder der Kohle in der Salpetersäure bei den Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen reines Silber in Königswasser gesetzt wurde. Er bemerkt, dass nach einem Gebrauche von einigen Monaten das Silber nicht merklich an Volumen abgenommen hatte und kein Silberchlorid in der porösen Zelle gefunden wurde.

(Quarterly Journal of Science. April 1867.)

---



## Einige electrische Apparate.

Von **Joseph Candido.**

(Hiezu Taf. XIII Figg. 3—5.)

### 1) Die Batterie von Candido.

Bei den verschiedenen Anordnungen, welche bisher die Volta'sche Säule erfahren hat, hat das Diaphragma immer eine doppelte Function:

einmal soll es die flüssigen Elemente trennen, aber doch so, dass ein Contact zwischen ihnen besteht;

dann soll es der Electricität in Form des Stromes den Durchgang durch seine Wände gestatten.

Hieraus folgt in der Säule ein beständiger und nothwendiger Antagonismus zwischen der Intensität und der Constanz der Wirkung. Ist das Diaphragma weniger permeabel, so wird der Widerstand mit der Constanz ein grösserer; es wird also die Kraft abnehmen. Stellt man dadurch, dass man das Diaphragma poröser macht, einen innigeren Contact zwischen den Flüssigkeiten her, so wird man an Kraft gewinnen; man wird sich aber sogleich überzeugen, dass die Wirkung an Constanz und Dauer verloren hat. Wie man auch die Art und Anordnung der flüssigen und festen Elemente der Säule variiren mag, so wird man, so lange das Diaphragma zugleich als Hinderniss und Communicationsweg functioniren wird, doch nie den Antagonismus und den Kampf zwischen der Kraft und Constanz vermeiden können.

Ich hatte nun die Idee, der Daniel'schen Batterie eine neue Anordnung zu geben und zwar in der Art, dass dabei das Diaphragma wohl die beiden Flüssigkeiten trennt, dass aber die Electricität bei ihrer Bewegung durch dasselbe keineswegs hindurchgehen und so einen Widerstand erfahren muss, sondern dass sie unmittelbar vom electro-positiven zum electro-negativen Element durch die Flüssigkeit hindurch geht. Da nun das von mir angenommene System vom experimentalen Standpuncte aus Vortheile vereinigt, welche man gewöhnlich mit den anderen Systemen nicht zu erreichen im Stande ist, so lasse ich die Beschreibung dieser Anordnung in der Hoffnung folgen, dass man sie auch auf anderen Säulen mit gleichem Erfolge wird anwenden können.

*R* (Fig. 3 Taf. XIII) ist ein cylindrisch gekrümmtes Kupferblech, welches oben wie gewöhnlich einen Fortsatz besitzt, unten als Basis eine Scheibe von gleichem Metalle trägt, deren Durchmesser viel grösser als der des Cylinders ist und welche leicht in das äussere Gefäss *V* hineingehen muss. Das Diaphragma ist eine nicht poröse Glas- oder

Porcellanröhre, die an ihren beiden Enden offen ist; etwa zwei Drittel vom oberen Rande entfernt besitzt dasselbe drei vorspringende Ansätze, welche dazu dienen, den Zinkkolben *Z* zu tragen. Dieses Diaphragma stellt man nun über den Kupfercylinder, so dass dessen untere Scheibe zugleich den Boden für das Diaphragma bildet. Ueber dieses bringt man den Zinkkolben und stellt dann das Ganze in das Glasgefäss *V*.

Will man die Batterie laden, so bringt man zuerst in das Diaphragma eine mehr oder weniger grosse Menge Kiessandes und legt darauf Krystalle von Kupfervitriol. In das äussere Gefäss *V* (in den zwischen dem Glase und dem Diaphragma enthaltenen Raum) giesst man sodann langsam leicht mit Schwefelsäure (4 bis 5 %) angesäuertes Wasser, indem man Acht gibt, dass dasselbe nicht über die Höhe des Diaphragmas hinaussteigt. Am Anfange zeigt die Säule eine energische Wirkung, welche jedoch bis zu einem gewissen Grade abnimmt und von da an constant bleibt. Sind die Kupfervitriolkrystalle aufgelöst, so geht die Lösung mehr oder weniger langsam durch den Sand und benetzt so die innere am Kupfercylinder befestigte Scheibe. Das Zink seinerseits wird von der verdünnten Schwefelsäure benetzt. Die durch die am Zink erzeugte chemische Wirkung hervorgebrachte Electricität geht durch die Kupferscheibe zum Kupfercylinder, von da zum Zink des nächsten Elementes u. s. f.

Diese Anwendung lässt auf einmal das Wesen der Säule erkennen, sie gestattet, dieselbe nach Willkür wirken zu lassen und zu reguliren, ohne dass es nöthig wäre, sie zu demontiren. Ist z. B. die Kupfervitriollösung zu schwach, so wird dies die Zone dieser Lösung, welche die Scheibe benetzt, sogleich zu erkennen geben. Ist sie zu stark und hat die Sandschicht eine geringe Dicke, so wird man die Zone der Kupferlösung bald steigen und dem Zink sich nähern sehen. Man wird in diesem Falle noch Sand hinzufügen und die Höhe der äusseren Kupferlösung vermindern, indem man aus dem Innern des Diaphragmas davon mittelst eines Hebers oder einer Pipette herausnimmt. Hat dann die äussere Flüssigkeit eine grössere Höhe als die innere, so wird sie auf den permeablen Grund des Diaphragmas einen Druck ausüben, welcher die excedirende Quantität der Kupferlösung auf ihren Platz zurücktreten lässt. Auf analoge Weise wird man im entgegengesetzten Falle verfahren. Die grössere Permeabilität der Sandschicht wird durch die Dauer der Wirkung begrenzt sein, welche man für die Säule erzielen will. Im Allgemeinen wird sie um so weniger permeabel sein,

als man sie weniger kurze Zeit an einem Tage in Wirkung erhalten will und umgekehrt; man wird dabei die Permeabilität ändern können, je nachdem man verschiedene Sandarten oder verschieden grosse Mengen derselben Art verwendet.

Die beschriebene Anordnung hat den Vortheil, dass die beiden Metalle nur an ihren beiden Flächen in die betreffenden Flüssigkeiten eintauchen, und sie gestattet ausserdem, dass man die Kupferablagerungen am Zink, wenn sich solche bilden, sieht; während bei den übrigen Anordnungen die Ablagerungen eintreten, ohne dass man sie sehen kann, und zwar in so grosser Menge, dass sie durch das Diaphragma (sei dies Sand oder eine poröse Zelle) hindurch gehen und einen secundären inneren Contact zwischen dem electro-positiven und electro-negativen Elemente herstellen.

---

## 2) Demonstration des Versuches der schiefen Ebene mit Hilfe der Electricität.

Bereits vor mehr als zehn Jahren hat der Pater Nicolaus Miozzi, Professor am königlichen Lyceum zu Lecca die Idee ausgesprochen, die Electricität beim Versuche des Falles der Körper auf einer schiefen Ebene zu benutzen; allein er hat nicht das Verfahren angegeben, das er befolgen wollte, und hat auch nicht Gelegenheit gehabt, seine Idee zu realisiren. Ich will hier nur die Anordnung angeben, welche ich seit vier Jahren bei meinen Vorlesungen über Experimentalphysik in Anwendung bringe, ohne dass ich dem Erfinder die schuldige Ehre schmälern will.

Nehmen wir an, es gleite ein beweglicher Körper an einem schief gegen den Horizont gespannten Faden herab, so könnte er auf seinem Wege electrische Schliessungskreise schliessen und so einen Ton an einem electromagnetischen Mechanismus erzeugen. Ein passend aufgestellter Metronom würde die Zeiteinheiten markiren. Es käme so nur darauf an, dass das electromagnetische Glockenwerk, wenn die electrischen Contacte aufeinanderfolgten, in Intervallen von 1, 4, 9 etc. mit den Angaben des Metronom übereinstimmte; es würde dadurch das Fundamentalgesetz bewiesen, dass beim Falle der Körper die durchlaufenen Räume sich wie die Quadrate der zum Durchlaufen erforderlichen Zeiten verhalten. Eine solche Anordnung erfordert übrigens einige Modification. Da nämlich der Lauf des Beweglichen zu rasch ist, so würde der electrische Contact in einem Zeitintervalle her-

gestellt, das zu kurz und unzureichend wäre, um am Hammer eine für die Zeichengebung an der Glocke hinreichende Attraction hervorzubringen. Es ist nicht nöthig, hier mit Flügeln versehene Räder anzuwenden, um den Contact zu verlängern; man kann dafür auf eine viel einfachere und öconomischere Weise sorgen. Es wird zu diesem Behufe ausreichen, dass am Ende des Intervalles 1, das der Zeiteinheit entspricht, schon ein geschlossener Leiter vorhanden ist, der beim Vorübergange des Beweglichen geöffnet wird. Es wird dann der Hammer, der durch die gegenwirkende Feder in seine normale Position zurückkommt, den Glockenschlag im electromagnetischen Apparate erzeugen. In gleicher Weise wird man am Ende der Intervalle 4, 9 etc. Contacte herstellen, so jedoch, dass der Strom nicht circuliren kann wegen einer Unterbrechung zwischen 1 u. 4, 4 u. 9 etc. Es werden also diese Unterbrechungen beim Vorübergange des Beweglichen geschlossen, während die Contacte 4, 9 etc. durch dasselbe Bewegliche aufgehoben werden. Der Versuch ist sehr frappant und eignet sich sehr gut für ein zahlreiches Auditorium, welchem man leicht durch das Experiment die Fallgesetze beweisen kann, wie sie sonst mit den Apparaten von Atwood, Morin, Breton etc. dargethan werden, bei denen sich aber der Beobachter sehr nahe am Instrumente befinden muss.

---

### 3) Electromagnetisches Pendel, das die Secunden markirt und schlägt.

Das Pendel $P$ (Fig. 5 Taf. XIII) setzt bei seiner Oscillationsbewegung den Mechanismus $CBT$ in Thätigkeit, der einen electrischen Schliessungsbogen schliesst; der so erzeugte Strom setzt den Electromagneten $E$ in Wirksamkeit, welcher den Anker $A$ anzieht und so den Winkelhebel $HFG$ bewegt. Wird der Schliessungsbogen von Neuem geöffnet, so wird die gegenwirkende Feder $R$ den Hebel in seine normale Lage zurückführen. Allein in dem Momente, wo der Hebelarm $FG$ auf das Steigrad $KK'L$ mittelst der Zähne $nog$ wirkt und dasselbe in der Richtung $LK'K$ dreht, markirt und schlägt dieses die Secunde, während es gleichzeitig dem Haken $L$ die zur Unterhaltung der Pendelbewegung nöthige Geschwindigkeit ertheilt. Die Anziehung des Electromagneten wird in dem Augenblicke der Ruhelage des Echappements ausgeübt und der Sperrkegel $m$ verhindert ein Zurückgehen des Rades.

---

# Verbesserter Axenwinkel-Apparat.

Von

## Viktor v. Lang.

Aus den Sitzber. der Wiener Akademie Bd. LV.

Hiezu Tafel XIV und XV.

Auf den Wunsch des Herrn Q. Sella habe ich im Jahre 1861 die Zeichnung eines Apparates entworfen zum Messen des Winkels der optischen Axen eines Krystalles beim Austritte in die Luft oder in Flüssigkeiten von verschiedenen Temperaturen. Das Instrument sollte jedoch die Ausführung der im Laufe einer Beobachtung nöthigen Operationen mit mehr Sicherheit und Bequemlichkeit ermöglichen als ähnliche bis dahin in Gebrauch befindliche Apparate. Ich habe das nach meiner Zeichnung ausgeführte Instrument damals der kaiserl. Akademie vorgelegt, mich aber mit einer kurzen Beschreibung desselben begnügt, indem noch keine praktischen Erfahrungen über dasselbe vorlagen. Seit der Zeit habe ich und andere Herren unter meiner Leitung mit einem ähnlichen Instrumente viel gearbeitet und ich bin hiedurch zur Ueberzeugung gekommen, dass der Apparat, nachdem noch einige Verbesserungen angebracht wurden, nunmehr den Anforderungen, die man an solche Apparate stellen kann, ziemlich gut Genüge leistet. Es dürfte daher vielleicht eine genaue Zeichnung meines Axenapparates in seiner jetzigen Gestalt nicht ohne Interesse sein, um so mehr als bei der Wichtigkeit, welche die Ermittelung optischer Constanten für die Bestimmung von Mineralien immer mehr und mehr gewinnt, es auch von praktischem Werthe ist Apparate zu haben, welche diese Beobachtungen auch denjenigen auszuführen erlauben, die mit dem Wesen der optischen Erscheinungen weniger vertraut sind.

Was nun die erwähnten Verbesserungen betrifft, so beziehen sich dieselben hauptsächlich auf zwei Punkte, auf das Beobachtungs-Fern-





rohr und auf die Vorrichtung zur Erwärmung der Flüssigkeiten. Mit Bezug auf das Beobachtungs-Fernrohr widersprechen sich nämlich theilweise die Anforderungen, die man a priori an dasselbe zu stellen hat, so dass erst längere Praxis lehren kann, in wie weit die einzelnen Anforderungen gegen einander berücksichtigt werden müssen. Um die optischen Axen deutlich zu sehen, und ihre Winkel genau messen zu können, muss man dieselben jedenfalls mittelst eines Fernrohres betrachten, das auf unendlich entfernte Gegenstände eingestellt und mit einem Fadenkreuz versehen ist. Das Beobachtungs-Fernrohr muss also zum Mindesten aus einer Objectivlinse von der Brennweite $f$ und aus einer Ocularlinse von der Brennweite $F$ bestehen, welche beide Sammellinsen nahezu um die Summe ihrer Brennweiten von einander abstehen.

Da nun das Fernrohr erstens verkleinern soll, damit auch bei schwach doppelbrechenden Krystallen und bei sehr dünnen Platten der Durchmesser der Ringe nicht zu gross wird, was ein genaues Einstellen unmöglich macht, so muss der Bruch $\frac{f}{F}$ möglichst klein sein, d. h. es muss $f$ klein, $F$ aber gross gemacht werden. Für Beides besteht jedoch eine Grenze. Das Fernrohr soll nämlich auch ein möglichst grosses Gesichtsfeld haben, indem dies zwar nicht für die Messung selbst, aber für die leichtere Auffindung der optischen Axen bei schlechter Einstellung von Vortheil ist. Damit das Gesichtsfeld nun nicht zu sehr verringert werde, soll die Krystallplatte von der Objectivlinse um weniger als die Brennweite $f$ derselben abstehen. Dieser Abstand muss aber anderseits so gross sein um auch etwas grössere Krystallplatten nicht nur in Luft, sondern auch wenn sie in ein Gefäss mit Flüssigkeit eingetaucht sind, herumdrehen zu können; ich habe mich daher begnügt $f$ nicht kleiner als 20 Millim. zu machen. Mit der Vergrösserung von $F$ wächst aber anderseits die Länge des Fernrohres beträchtlich, und um so weiter wird auch der Beobachter von den Theilen des Apparates entfernt, die zur Einstellung und Messung dienen, so dass bei einem gewissen Punkte die Handhabung dieser Theile bei gleichzeitiger Beobachtung im Fernrohr schon sehr erschwert wird. Ich habe daher $F$ nicht grösser als 50 Millim. gemacht, indem die hieraus resultirende lineare $2\frac{1}{2}$fache Verkleinerung nur höchstens in ganz exceptionellen Fällen, wegen der es nicht räthlich ist andere Vortheile zu opfern, nicht genügen dürfte. Man kann

vielmehr in solchen Fällen sich immer noch dadurch helfen, dass man vor die Objectivlinse eine weitere Sammellinse auf das Fernrohr setzt, wodurch die Verkleinerung noch mehr steigt.

Der grösste Werth übrigens, welchen $F$ haben kann, muss jedoch noch kleiner als die Weite des deutlichen Sehers sein, da ja durch die Ocularlinse das Fadenkreuz deutlich gesehen werden soll. Die Verlängerung des Fernrohres hat auch noch den Nachtheil, dass die Interferenzerscheinung desto lichtschwächer wird. Dies ist freilich nur bei Krystallplatten von sehr geringer Flächenausdehnung zu berücksichtigen, da durch solche auch bei starker Beleuchtung nur wenig Licht hindurch gehen kann. Ich will die Eigenschaft des Fernrohres, auch noch bei kleinen Platten die Interferenzerscheinung wahrnehmen zu lassen, die Empfindlichkeit desselben nennen. Letztere hängt nun auch davon ab, dass möglichst alles fremde Licht abgehalten werde. Dies kann dadurch erreicht werden, dass man die kleine Platte auf eine Glasplatte klebt und letztere rings um den Krystall schwärzt; es wird aber auch dadurch bewirkt, dass man unter allen Umständen der Objectivlinse eine kleine Oeffnung giebt. Letzteres findet von selbst nothwendiger Weise statt, falls $f$ klein ist. Im Uebrigen ist die Empfindlichkeit des Fernrohres unabhängig von seinem Gesichtsfelde und seiner Verkleinerung. Es ist daher auch der Vorwurf ungerechtfertigt, welchen mein sehr geehrter Freund Herr Des Cloizeaux in Paris bei der Beschreibung des von ihm angegebenen Axenapparates meinem Instrumente macht, dass man mit demselben keine kleine Platten messen könnte. Ich habe vielmehr wiederholt Platten mit meinem Apparate untersucht, deren Fläche den Raum von $^1/_7$ Quadratmillim. nicht überstieg.

Zu dem Beobachtungsfernrohre gehört natürlich noch eine Beleuchtungslinse, welche nach den verschiedenen Richtungen parallele Lichtbündel durch die Krystallplatte zu senden hat und zwar sind die äussersten dieser Richtungen durch das Gesichtsfeld des Fernrohres bestimmt. Es ist daher am einfachsten[1]) man macht die Brennweite $f'$ der Beleuchtungslinse gleich der Brennweite $f$ der Objectivlinse und bringt sie auch in dieselbe Entfernung von der

1) Vergl. die interessante Abhandlung von E. Reusch: „Ueber Linsen und Linsensysteme zur Beobachtung der Farbenringe im polarisirten Lichte.“ Amtl. Ber. der 34. Vers. d. Naturforscher in Carlsruhe, Carlsruhe 1859.

Krystallplatte, natürlich in der Verlängerung des Fernrohres. Es ist dann damit das ganze Gesichtsfeld gehörig erleuchtet, sei nur noch eine solche Grösse der Beleuchtungslinse nöthig, bei welcher sie auch noch von den das Gesichtsfeld begrenzenden Richtungen getroffen wird: nämlich von jenen Geraden, die von den Rändern der Fadenkreuzblendung durch die Mitte der Objectivlinse gehen. Die Beleuchtungslinse wird daher nahezu doppelt so breit sein müssen, als der Durchmesser der Fadenkreuzblendung, da wir den Abstand der Beleuchtungs- und Objectivlinse unbedeutend kleiner als die Summe ihrer Brennweiten wählen.

Was nun die Verbesserung hinsichtlich der Erwärmung der Flüssigkeiten, in welcher der Axenwinkel gemessen werden soll, betrifft, so habe ich eine Einrichtung adoptirt, die auch Des Cloizeaux bei seinem Axenapparate angewendet hat, und die auch sonst bei mikroskopischen Untersuchungen in Gebrauch ist. Die Flüssigkeit wird nicht gerade unterhalb der Krystallplatte, sondern seitwärts erwärmt, wozu dann natürlich ein grösseres Flüssigkeitsgefäss nöthig ist.

Da die Anwendung einer grösseren Menge von Flüssigkeit überhaupt der gleichförmigen Temperatur wegen von Vortheil ist, so habe ich die seitliche Erhitzung derselben hauptsächlich darum angewendet, um Raum für eine Vorrichtung zu gewinnen, welche das Flüssigkeitsgefäss höher und niedriger zu stellen erlaubt, was in vielen Fällen von Vortheil ist.

Ich gehe nun zur Beschreibung des Apparates selbst über, von welchem Fig. 1 Taf. XIV eine perspectivische Ansicht, Fig. 3 Taf. XV aber einen Durchschnitt in natürlicher Grösse giebt.

Auf einem mit zwei Stellschrauben und einem Fusse versehenen Brette $A$, von nahezu dreieckiger Form, ist mittelst zweier flacher Messingsäulen $B$, $B'$ ein Theilkreis $C$ befestigt, so dass die mit einem breiten Knopfe $D$ drehbare Axe desselben senkrecht auf dem Brette d. i. vertical, steht. Diese Axe trägt oben die Alhidade $E$, unten aber eine durch drei Federn gesicherte Planverschiebung $F$, welche dazu dient eine beliebige Stelle der Krystallplatte in die Axe des Kreises zu bringen, d. h. zu centriren. Die verschiebbare Scheibe setzt sich nach unten in eine Röhre $G$ fort, in welcher ein Stift $H$ auf- und abwärts geschoben und durch eine Schraube $I$ festgestellt werden kann. Dieser Stift endigt in die Justirungsvorrichtung $K$, welche in einer ebenfalls durch drei Federn gehaltenen Kugelverschiebung (Petval's

Träger) besteht und welche innerhalb gewisser Grenzen gestattet, der Platte eine beliebige Richtung im Raume zu geben. Zum Halten der Krystallplatte dient eine versilberte (wegen des Oeles) Zange *L*, die an der unteren Schale der Kugelverschiebung befestigt ist.

Von den zwei Messingsäulen trägt die eine (*B*) das Beobachtungsfernrohr, die andere (*B'*) das Beleuchtungsrohr. Ersteres steckt in einer Hülse *M*, welche mittelst zweier Zug- und zweier Druckschrauben (*aa bb*) an der Säule befestigt ist und besteht aus einer biconvexen Objectivlinse *c* von 20 Millim. Brennweite und 9 Millim. Oeffnung, aus einer Fadenkreuzblendung *d* von $7^1/_2$ Millim. Oeffnung, aus einer biconvexen Ocularlinse *e* von 50 Millim. Brennweite und 20 Millim. Oeffnung, und endlich aus einem Nicol'schen Prisma *f*. Das Ocular wird durch die Schraubenmutter *g* an das Objectivrohr geklemmt, die Fassung des Nicol'schen Prisma dagegen kann mittelst der Augenblendung *h* leicht um seine Axe gedreht und ganz entfernt werden.

Das Beleuchtungsrohr dagegen enthält eine planconvexe Linse *i* von 20 Millim. Brennweite und 14 Millim. Oeffnung und ein Nicol'sches Prisma *k*, welches sammt dem Beleuchtungsrohre um seine Axe gedreht werden kann, da letzteres ebenfalls in einer Hülse *N* steckt, die jedoch in unveränderlicher Richtung an die Messingsäule eingeschraubt ist.

Die nothwendige Einstellung des Fernrohres auf Unendlich geschieht dadurch, dass man Ocular und Fadenkreuz so lange verschiebt, bis man nicht nur letzteres deutlich sieht, sondern auch die Bilder weit entfernter Gegenstände ihren Platz gegen das Fadenkreuz nicht ändert, wenn sich auch das Auge des Beobachters hin und her bewegt. In dieser Stellung wird dann die Schraubenmutter *g* angezogen. Um die Axe des Fernrohres senkrecht zur Drehungsaxe zu machen, bringt man in die Zange *L* eine plan-parallele Glasplatte, vor das Ocular aber ein Deckgläschen in solcher Stellung, dass das Licht einer seitlichen breiten Flamme in das Fernrohr fällt. Man hat bekanntlich dann so lange die Schrauben *a*, *a* und die Stellung der Glasplatte zu corrigiren, bis für beide Seiten der Glasplatte der direct und durch Reflexion gesehene Horizontalfaden des Fadenkreuzes übereinstimmen. Es ist dazu nicht einmal nöthig, dass die Glasplatte vollkommen parallel sei, nur muss in dem Falle, wo sie schwach prismatisch ist, ihre Kante nahezu parallel der Drehungsaxe sein. Die zwei andern Schrauben *b*, *b* werden so gestellt, dass das Gesichtsfeld rechts und links keinen Unterschied zeigt. Statt der plan-parallelen Glasplatte

kann man einfacher gleich zur Justirung des Fernrohres das Bild benützen, das vom Fadenkreuze auf der ebenen Fläche der Beleuchtungslinse *i* entworfen wird, und dasselbe durch die vier Schrauben *a*, *b* mit dem Fadenkreuze zur vollkommenen Deckung bringen. Dies setzt freilich voraus, dass vom Mechaniker auch wirklich das Beleuchtungsrohr parallel dem Limbus angefertigt wurde.

Ersetzt man die plan-parallele Glasplatte durch eine Krystallplatte, welche, wenn sie zu klein ist, auf eine Glasplatte geklebt ist, so kann man durch die nämliche Art der Beobachtung auch leicht den Winkel messen, welche eine optische Axe mit der Normale der Fläche bildet, durch welche sie austritt. Man hat nur einmal auf die optische Axe dann auf das reflectirte Fadenkreuz einzustellen und die beobachteten Ablesungen von einander abzuziehen.

Zur Untersuchung der Krystallplatten in Flüssigkeiten von gewöhnlicher Temperatur dient ein offenes Gefäss (Fig. 2) aus Weissblech mit quadratischem Querschnitte von beiläufig 32 Millimeter Seitenlänge. Zwei gegenüberstehende Seiten dieses Gefässes sind durchlöchert und über diese Löcher inwendig Glasplatten mit Canadabalsam geklebt. Dieses Gefäss passt in ein Tischchen *O*, welches höher und niedriger gestellt werden kann und welches in der Verlängerung der Axe des Kreises auf dem Brette *A* befestigt ist. Durch die Grösse dieses Gefässes ist auch der Abstand gegeben, bis zu welchem Beobachtungsfernrohr und Beleuchtungsrohr der Axe genähert werden dürfen. Es ist gut zwei derartige Gefässe zu besitzen, von denen eines ausschliesslich für Olivenöl bestimmt ist, welches am Lichte sich allmälig bleichte.

Um dagegen in erwärmten Flüssigkeiten beobachten zu können, benützt man ein aus Messingblech zusammengesetztes, hartgelöthetes Gefäss, von welchem Fig. 4 Taf. XV eine Ansicht der längeren Seiten, Fig. 5 aber einen Querschnitt durch die Mitte der in den längeren Seiten befindlichen Oeffnungen giebt, welche auf passende Weise durch Glasplatten *l* verschlossen sind. Die Erwärmung des Gefässes geschieht nur an seinen beiden Enden, mit welchen dasselbe über das Brett *A* hinausragt, wenn es auf das Tischchen *O* gestellt wird. Damit sich letzteres nicht zu sehr erhitzt, sitzt das Gefäss nur mit vier kurzen Füssen *m* auf. Die Temperatur wird schliesslich mittelst zweier Thermometer *n* bestimmt, die von je einer Brücke *o* gehalten in die Flüssigkeit getaucht werden.

---

# Der Sprechapparat des atlantischen Kabels.

Von

**Dr. Dellmann.**

Hiezu Figur 17, Tafel XIX.

Der in der Ueberschrift genannte Apparat von Sir W. Thomson ist, wie dies auch Dr. Schellen in seiner Brochüre über das atlantische Kabel in einer Note bemerkt, leicht darzustellen, wenn man den Mechanismus zur Aufgabe der Depeschen durch die Hand ersetzt. Die Erfahrungen, welche ich dabei gemacht, können Denjenigen, welche den interessanten Sprechapparat sich anzufertigen Lust haben, vielleicht von Nutzen sein, wesshalb sie hier eine Stelle finden mögen. Die beigegebene Figur, welche einer Photographie des Apparates nachgebildet ist, zeigt die beiden Theile desselben, die Skale und den Multiplikator.

Die Skale befindet sich auf einem hölzernen, schwarz gebeizten Gestell, dessen vertikale Vorderwand 18″ lang und 9″ hoch ist mit einem nach hinten angesetzten horizontalen Boden von derselben Länge und 4″ Breite. Der Boden hat 3 kleine Füsse, 2 vorn und einen hinten. Auf der Hinterseite des vertikalen Brettes sind noch in 5″ Entfernung von einander 2 Brettchen angefügt von der Höhe des Vorderbrettes und der Breite des Bodens; sie bilden ein nach oben und hinten offenes Kästchen zur Aufnahme der Petroleum-Lampe, welche parallelepipedisch gebaut und von der Länge und Breite ist, dass sie ziemlich genau in das Kästchen passt. Das vertikale Vorderbrett hat in der Mitte des Kästchens eine kreisförmige Oeffnung von etwa 8‴ Durchmesser, in welcher ein nach vorn und horizontal gerichtetes Blechrohr steckt, welches nach vorn schwach konisch sich erweitert. Man sieht, dass dies der Kanal ist, durch den sich das Licht der Lampe ergiessen soll. Etwa 3″ über dem Blechrohr ist auf der Vorderseite die papierne Skale angeheftet.

So weit wurde mir mit dem Spiegel-Elektrometer die Skale von Glasgow aus zugeschickt. Da ich fand, dass das vom Spiegel des Multiplikators auf die Skale zurückgeworfene Bild bei Tage durch Schliessung der Jalousien noch nicht deutlich wird, auch Nachts an Helligkeit verliert durch das zerstreute Licht, welches die Lampe nach hinten im Zimmer verbreitet, so fügte ich noch einen Schirm hinzu von schwarzem Eisenblech und von passender Grösse, welcher am vordern Rande rechtwinklig umgebogen ist, damit er beim Auflegen auf das Lampenkästchen an dem Vorderbrett einen Anhalt hat. Der Schirm ist in passender Weise gebogen, so dass er das Kästchen von hinten und oben ganz schliesst, mit Ausnahme der kreisförmigen Oeffnung, welche er oben zum Durchlassen des gläsernen Lampencylinders haben muss.

Um den Multiplikator sich darzustellen, lässt man sich vom Holzdreher den kreisförmigen Fuss von etwa 8″ Durchmesser und 8″ Dicke drehen mit dem röhrenförmigen Ständer dazu von 6 bis 8″ Höhe und etwa 1″ Durchmesser; er hat am untern Ende einen Zapfen zum Einleimen in den Fuss. Die cylinderförmige Röhre des Ständers dient zur Aufnahme eines dicken Kupfer- oder Messingdrahtes, welcher die Multiplikator-Rolle trägt und durch eine von der Seite kommende Stellschraube in der Röhre befestigt werden kann. Mittelst dieses Drahtes kann die Multiplikator-Rolle gehoben, gesenkt und gedreht werden. Die Stellschrauben des Fusses dienen auch noch dazu, die Ebene der Rollen zu reguliren. Meine hölzerne Rolle hat einen Raum für die Drahtwindungen von 1″ Breite und Höhe. Der kreisförmige Centralraum der Rolle zur Aufnahme der Magnetnadel und des Spiegelchens hat 2″ Durchmesser. Beim Ausdrehen des Raumes für die Drahtwindungen ist so viel Holz (¼ Zoll) stehen geblieben, dass der dicke Messingdraht für sein Schraubengewinde am obern Ende Raum genug findet, um die Multiplikator-Rolle mit gehöriger Haltbarkeit anschrauben zu können. Diametral der Stelle gegenüber, wo die Rolle angeschraubt ist, hat sie ein Loch im Boden der Windungen von 2 bis 3‴ Weite zum Durchlassen eines Glasröhrchens von 5 bis 6″ Länge, welches steif in dem Loche verschoben werden kann. In diesem Glasröhrchen hängt der Seidenfaden, an dem unten das Spiegelchen mit der kleinen Magnetnadel befestigt ist. Die Magnetnadel ist mit einem schnell trocknenden Firniss an die untere Kante des Spiegelchens geklebt. Sie ist noch keinen Zoll lang und ein Stückchen

einer sehr feinen Laubsäge, nämlich das eine Ende derselben. Das Spiegelchen ist aus einem Mikroskop-Deckgläschen bereitet und eine seiner Flächen auf die bekannte Weise mit Silber belegt. Ein Stückchen von einem der dünnsten im Handel vorkommenden Spiegel ist auch zu gebrauchen, wie ich gesehen habe. Der Seidenfaden wird mit dem schnell trocknenden Firniss auf die Hinterseite des Spiegelchens geklebt. Das obere Ende des Fadens wird mittelst Schellack an das untere Ende eines Messingdrahtes von passender Dicke und 7 bis 8″ Länge befestigt. Oben ist dieser Draht zugespitzt, damit er leicht durch ein Korkstöpselchen gesteckt werden kann, welches das Glasröhrchen oben schliesst. Hat man den Seidenfaden unten und oben befestigt, so schiebt man den Messingdraht von unten durch das Glasröhrchen, dann sein oberes Ende durch das Stöpselchen und drückt dieses so weit herunter am Draht, bis der Seidenfaden und das untere Drahtstück zusammen die Länge haben, dass das Spiegelchen in die Mitte des Centralraumes zu hängen kommt. Nun lässt sich leicht mittelst der Stellschrauben ajustiren. Der Seidenfaden muss kein einfacher Coconfaden sein, weil dieser zu leicht durch die untere Kante des Glasröhrchens durchgeschnitten wird. Gegenwärtig habe ich einen Faden im Apparate, der etwa aus 10 bis 12 Coconfäden besteht, aber ungedreht ist. Hat man keine rohe Seide, so kann man ja leicht gezwirnte aufdrehen.

Meine Multiplikator-Rolle enthält etwa 1500 Windungen eines $2^{mm}_{,}5$ dicken, von Stöhrer in Dresden gut umsponnenen Kupferdrahtes. Ein Kupfer- und ein Zinkstreifen von 2‴ Breite geben im Brunnenwasser einen passend starken Strom, um die Erscheinungen recht deutlich zu zeigen. Wird der eine Metallstreifen in's Wasser gestellt, der andere nur mit dem einen Ende an die Oberfläche des Wassers gebracht, so fängt das Lichtbild an sich zu bewegen, und je tiefer man den zweiten Streifen eintaucht, desto weiter entfernt sich das Bild von der Mitte der Skale, auf die es eingestellt war. Hebt man den zweiten Streifen aus dem Wasser, unterbricht man also den Strom, so geht das Bild zur Mitte zurück. Wenn man bei diesem Zurückgehen schnell wieder bis auf gewisse Tiefe den zweiten Streifen eintaucht, so kann man bei einiger Uebung dadurch das Bild leicht zum Stillstehen an einer gewissen Stelle bringen. Man muss nur, wenn man sieht, dass für diese Stelle der Strom noch zu stark ist, dass sich also das Bild wieder von der Mitte entfernen will, den zweiten

Streifen schnell wieder etwas aus dem Wasser herausziehen. Daraus ergiebt sich, dass man, wenn man eine verdünnte Säure oder ein anderes Leitungsmittel anwendet, man eines Multiplikators mit viel weniger Windungen sich bedienen kann, wodurch der Apparat noch billiger wird und leichter anzufertigen ist.

Es versteht sich, dass die Bewegungen des Spiegels und der Nadel um so schneller sind, je geringer ihr Gesammt-Gewicht ist. Da der Spiegel eine Windfahne bildet, so muss man den Centralraum für denselben vorn und hinten durch Gläser schliessen.

Das Eintauchen und Herausheben des zweiten Metallstreifens entspricht dem Niederdrücken und Loslassen des Knopfes beim Aufgeben der Telegramme mit den gegenwärtigen Morse'schen Apparaten, das Eintauchen und Festhalten des zweiten Streifens in gewisser Tiefe, um das Bild an gewisser Stelle zum Stehen zu bringen, dem Niederdrücken und Festhalten des Knopfes. Beim Morse-Apparate werden bekanntlich durch Ersteres Punkte, durch Letzteres Striche telegraphirt; bei dem beschriebenen Apparate durch Ersteres Bewegungen des Lichtbildes von der Mitte aus nach einer Seite hin, durch Letzteres Stillstehen desselben an einem gewissen Skalenpunkte. Lässt man die Bewegungen desselben für Punkte, das Stillstehen für Striche gelten, so kann man mit dem Thomson'schen Apparate also auch ganz in derselben Weise telegraphiren, wie mit den Morse-Apparaten, und die Handbewegungen, welche der Telegraphist beim Aufgeben der Depeschen mit beiden Apparaten zu machen hat, entsprechen einander in diesem Falle fast genau.

---

# Mittheilungen über die auf der Pariser Ausstellung befindlichen physikalischen, mathematischen und astronomischen Instrumente und Apparate.

## I.

Der Herausgeber hatte ursprünglich die Absicht, den Lesern des Repertoriums einen allgemeinen Bericht über die auf der Pariser Ausstellung befindlichen Apparate und Instrumente zu geben; der Besuch der Ausstellung selbst veranlasste jedoch eine Modification dieser Absicht dahin, dass es zweckmässiger sein wird, blos über die wirklich (ganz oder theilweise) neuen Erscheinungen, welche in unserm Gebiete auf der Weltausstellung vertreten sind, zu berichten. So hat uns Herr Professor Pisko einen Bericht über die neuesten akustischen Apparate von König für das Repertorium freundlichst zugesagt; Herr Radau hat uns erlaubt, seine interessanten Berichte im Moniteur L'Scientifique benützen zu dürfen; von Herrn Leski, Telegraphentechniker bei Breguet, wurde uns eine Mittheilung über die Telegraphenapparate auf der Ausstellung in nächste Aussicht gestellt u. s. f. Wir glauben uns deshalb der Hoffnung hingeben zu dürfen, dass diese Anordnung unsere Leser mehr befriedigen werde, als ein allgemeiner Bericht über die auf der Ausstellung befindlichen Apparate und Instrumente.

### Electrisirmaschinen.

Wir wollen nun in diesem Hefte zunächst mit einigen Mittheilungen über die ausgestellten Electrisirmaschinen beginnen. Wir sehen auf der Ausstellung mehrere Reibungselectrisirmaschinen von beträchtlichen Dimensionen.

Hempel in Paris hat seine grosse Maschine ausgestellt, welche übrigens dem deutschen Physiker, der die Winter'sche Construction der Electrisirmaschine kennt, wenig Neues bietet.

Dell' Acqua in Mailand stellte eine Electrisirmaschine aus, welche gleichfalls im Wesentlichen nach der Winter'schen Construction gebaut ist und nur die Eigenthümlichkeit besitzt, dass auch mit dem negativen Conductor ein geschlossener, mit Holz verkleideter, ovaler Leiter (entsprechend dem Winter'schen Ringe am positiven Conductor) verbunden ist. Ferner hat das Reibezeug bei dieser Maschine abweichend grosse Dimensionen.

Winter selbst hat eine Riesenmaschine zur Ausstellung gebracht. Der sonst auf den Conductor aufgesetzte Holzring befindet sich hier, getrennt vom Conductor, auf einem eigenen isolirten Fusse und ist nur durch Zuleitungsdrähte mit der Maschine verbunden. Das Neue (wenigstens vom Herausgeber nirgends bisher in Anwendung Gesehene) am ganzen Apparat besteht aber hauptsächlich darin, dass alle Metalltheile der Maschine (Conductoren etc.) bis auf die Stellen, welche direct zum Funkenziehen benutzt werden, mit Holz überkleidet sind, wie dies Winter schon früher bei dem von ihn eingeführten Ringe gethan hat. Hervorheben wollen wir noch, dass Herr Winter bei seiner Maschine auf die äussere Ausstattung wenig Gewicht gelegt hat, da jede Spuren überflüssiger Verzierung vermieden ist, und es mag deshalb dieselbe weit weniger beachtet werden, als sie es verdient. Der aufmerksame Sachkenner sieht übrigens auf den ersten Blick, dass er hier in der That einen soliden Apparat vor sich hat, und wenn Herr Winter die Absicht gehabt hat, durch seine Maschine zu zeigen, dass bei physikalischen Apparaten überhaupt nach strenger Berücksichtigung aller wesentlichen Punkte nicht mehr Arbeit, als gerade nöthig ist, auf die äussere Ausstattung zu verwenden ist, so können wir ihm auch in dieser Hinsicht unser Lob nicht versagen. Da sich auf solche Weise die Apparate billiger herstellen lassen, so würden unsere physikalischen Cabinete dadurch an äusserem Ansehen allerdings etwas einbüssen, an Reichhaltigkeit aber bedeutend gewinnen können.

---

Noch mehr Interesse als diese Riesenapparate und die übrigen ausgestellten, theilweise sogar als primitiv zu bezeichnenden Reibungs-Electrisirmaschinen mussten dem die Ausstellung besuchenden Physiker die verschiedenen, daselbst befindlichen Influenzelectrisirmaschinen

bieten. Wir finden dort die erste Einrichtung der Holtz'schen Maschine von Schulz in Berlin ausgestellt; von Borchard in Berlin ausgeführt sehen wir mehrere der später von Holtz angegebenen Einrichtungen der Influenzmaschine. Töpler hat durch Wesselhöft in Riga seine Maschine zur Ausstellung gebracht; auch Bertsch und Piche haben ihre Influenzmaschinen im Industriepalaste aufgestellt.

Radau hat über diese neuen Electrisirmaschinen im Moniteur Scientifique eine interessante Mittheilung vor Kurzem veröffentlicht, welche wir im Folgenden unseren Lesern vorführen wollen.

Die wunderbaren Wirkungen, sagt Radau, der neuen Electrisirmaschinen ohne Reibung haben die allgemeine Aufmerksamkeit in so hohem Grade auf sich gezogen, dass es sich, wie mir scheint, der Mühe lohnt, ihre Geschichte zu behandeln und zu untersuchen, was neu an dieser Entdeckung ist. Wir wissen, dass das Princip, auf dem diese Maschinen beruhen, längst bekannt ist; allein, wie dies so häufig vorkommt, man vermuthete nicht seine Fruchtbarkeit und vernachlässigte dieselbe zu ergründen — es sollten drei Viertheile eines Jahrhunderts vergehen, bis eine glückliche Hand die Combination fand, womit diese schönen tragbaren Blitze (fondres portatives) erzeugt werden.

Man kann die neuen Apparate dadurch characterisiren, dass man sagt, sie seien Rotationsduplicatoren. In den Lehrbüchern findet man häufig die Duplicatoren unter der Bezeichnung von doppelten Condensatoren beschrieben; allein man hat es hier mit zwei Principien und zwei wesentlich verschiedenen Wirkungsweisen zu thun und es wäre besser, sie durch eine entsprechende Unterscheidung in der Bezeichnung der Apparate scharf zu trennen. So glaube ich, sollte man den Namen „Condensator“ denjenigen Apparaten beilegen, mit deren Hilfe man dahin gelangt, auf einer isolirten leitenden Oberfläche eine starke electrische Ladung, oder dadurch, dass man sie von aussen schöpft und allmälig auf diese Fläche führt, zu fixiren, zu condensiren. Dagegen sollte man Multiplicator jeden Apparat nennen, welcher den Zweck hat, eine schwache, einmal mitgetheilte Ladung durch successive Uebertragungen und Versetzungen ins Unendliche zu vervielfältigen. Hat die Progression nach den Potenzen der Zahl 2, der Zahl 3 . . statt, so hat man einen Duplicator, Triplicator u. s. f.

Das Princip des Condensators ist mit wenigen Worten das Folgende: Wenn man zwei Metallplatten, welche isolirt und durch eine Glasplatte, eine Firnissschicht oder selbst nur durch eine Luftschicht

getrennt sind, einander gegenüber stellt, so kann man der Collectorplatte eine sehr starke Ladung mittheilen, wenn man nur die andere, die Condensatorplatte, mit dem Boden in leitende Verbindung bringt. Diese Leitung zieht nämlich durch die isolirende Schicht hindurch das ungleichnamige Fluidum des Condensators an und stösst das gleichnamige Fluidum in den Boden ab. Die beiden sich anziehenden Fluida werden gleichsam auf der isolirenden Schicht festgeklebt, ohne sich vereinigen zu können; sie bleiben einander gegenüber auf ihren bezüglichen Grenzen. Man nennt dies gebundene Electricität (de l'électricité dissimulée ou latente). Entfernt man sodann die Electricitätsquelle, hebt man die Verbindung mit dem Boden auf und entfernt man die beiden Platten von einander, so zeigt sich, dass die Fluida auf das Glas übertragen worden sind; bringt man nun die Platten wieder zusammen und verbindet man sie durch einen Schliessungsbogen, so erhält man eine starke Entladung. Vereinigt man die Platten und das sie trennende Glas in Form einer Flasche, so hat man die Leydener Flasche.

Um einen Multiplicator herzustellen sind wenigstens drei Platten erforderlich. Die erste erhält eine schwache Ladung; man stellt sie der zweiten, die mit dem Boden in Verbindung gesetzt ist, gegenüber. Sogleich werden daselbst die Fluida durch Influenz getrennt; das eine entweicht durch einen ihm dargebotenen Ausweg, das andere wird gebunden und man kann dann die Verbindung mit dem Boden aufheben. Man hat die ursprüngliche Menge verdoppelt; war die erste Platte positiv geladen, so erhält die entgegengesetzte Platte eine äquivalente negative Ladung. Die vorübergehende Verbindung mit dem Boden wird auf die einfachste Weise dadurch erhalten, dass man die zweite Platte mit dem Finger berührt.

Man wiederholt die gleiche Operation mit der dritten Platte; man setzt sie mit dem Boden in Verbindung, während man ihr eine der beiden andern Platten gegenüberstellt — sie wird dann mit entgegengesetzter Electricität geladen und die ursprüngliche Menge ist verdreifacht.

Von nun an kann man mehrere Methoden anwenden, um die ursprüngliche Electricitätsmenge weiter zu vermehren. Die Folgende ist diejenige, welche von Peclet um das Jahr 1838 mit dem Condensator-Electrometer mit drei Platten angewendet wurde und welche von Allen die wenigst raschen Wirkungen giebt. Der Apparat besteht

aus drei über einander befindlichen Platten $A$, $B$, $C$, wovon die erste auf einem Goldblattelectrometer aufgesetzt ist, das dazu dient, die erhaltene Wirkung zu beobachten. Die beiden anderen Platten haben gläserne Handgriffe, mittelst welcher sie abgehoben werden. Man beginnt damit, dass man die obere Platte $C$, die auf $B$ gelegt ist, electrisirt, während $B$ auf $A$ gelegt ist; man berührt $B$ mit dem Finger und erhält eine Vertheilung der Fluida, die wir mit $-B$, $+C$ bezeichnen wollen. Man hebt $C$ ab und berührt $A$ mit dem Finger; man erhält dann $+A$, $-B$. Setzt man nun $C$ auf $B$, so kann man von Neuem influenciren, denn die durch $B$ erhaltene Electricität ist gebunden, und wenn man dann $C$ abhebt, während man $B$ mit dem Finger berührt hat, so hat man daselbst eine neue Quantität $-B$, welche sich mit der ersten wieder verbindet und welche in $A$ eine neue Quantität $+A$ frei werden lässt, wenn man $A$ mit dem Finger berührt. Man hat also dann $+2A$, $-2B$. Wiederholt man diese Operation, so erhält man $+3A$, $-3B$ u. s. f.; die Ladungen nehmen in arithmetischer Progression zu.

Um Figuren zu ersparen, werden wir von nun an die Resultate dieser Operationen durch Tabellen darstellen, in welchen die Platten durch schwarze Striche dargestellt sind und das Zeichen $<$ den Finger bedeutet, welcher das positive oder negative Fluidum ableitet. Folgende ist die Tabelle für den Multiplicator von Peclet.

Multiplicator von Peclet.

| I | | | I bis | | |
|---|---|---|---|---|---|
| . . . . . | | | $+C$ | ——— | |
| $+C$ | ——— | | . . . . . | | |
| $-B$ | ——— | $<+$ | $-B$ | ——— | |
| $0A$ | ——— | | $+A$ | ——— | $<-$ |
| **II** | | | **II bis** | | |
| . . . . . | | | $+C$ | ——— | |
| $+C$ | ——— | | . . . . . | | |
| $-2B$ | ——— | $<+$ | $-2B$ | ——— | |
| $+A$ | ——— | | $+2A$ | ——— | $<-$ |
| **III** | | | **III bis** | | |
| . . . . . | | | $+C$ | ——— | |
| $+C$ | ——— | | . . . . . | | |
| $-3B$ | ——— | $<+$ | $-3B$ | ——— | |
| $+2A$ | ——— | | $+3A$ | ——— | $<-$ |

Lange vor Peclet hatte der englische Physiker **Bennett**, der Erfinder des Goldblattelectroscopes, einen Duplicator oder Electricitätsverdoppler bekannt gemacht, der gleichfalls aus drei Platten besteht, der aber die ursprüngliche Ladung in einer geometrischen Progression vermehrt, deren Quotient 2 ist. Man beginnt damit, dass man die untere Platte $A$ electrisirt, legt darauf $B$, berührt diese mit dem Finger und erhält so $+A$, $-B$. Dann hebt man $B$ ab, legt dieselbe über $C$, berührt $C$ mit dem Finger und erhält $-B$, $+C$. Nun setzt man $B$ wieder auf $A$, wobei man den Rand derselben an $C$ anlegt oder indem man dieselbe mit $C$ durch einen Leiter in Verbindung setzt. Man erhält dann $-B$ zugleich mit einer doppelten positiven Ladung, und wenn man $B$ mit dem Finger berührt, erhält man $-2B$ gegenüber von $-2A$, da die Ladung von $C$ auf $A$ übertragen wurde. Man hebt $C$ ab und trennt $A$ und $B$, deren jede nun eine doppelte Ladung besitzt, während $C$ nichts mehr enthält. Mit der Ladung $-2B$ entwickelt man in $C$ eine neue Ladung $-2C$; man setzt $B$ wieder auf $A$, welche man mit $C$ verbindet, und es befindet sich nun $-2B$ gegenüber den Ladungen $-2A$ und $-2C$, welche sich vereinigen, um $-4A$ zu bilden, wenn man $B$ mit dem Finger berührt; gleichzeitig entsteht $-4B$ aus $-2B$, fortwährend durch Influenz. Eine dritte Operation entwickelt $-4C$, welches man mit $-4A$ vereinigt, um $-8A$ und durch Influenz $-8B$ zu bilden. Wiederholt man diese Operation m-mal, so hat man schliesslich auf $A$ die Quantität $+2^mA$, auf $B$ die äquivalente Quantität $-2^mB$. Es ist übrigens gleichgültig $B$ auf $A$ zu legen, während man $A$ mit $C$ vereinigt, oder es auf $C$ zu lassen; man würde im letzteren Falle $+2^mC$ anstatt $+2^mA$ erhalten. Es wird dieses Resultat durch den Anblick der folgenden Tabellen ersichtlich:

**Bennett's Duplicator.**

| I | | I bis | |
|---|---|---|---|
| $-B$ ——— <+ | . . . . . | . . . . . | $-B$ ——— |
| $+A$ ——— | $0C$ ——— | $+A$ ——— | $+C$ ——— <− |

| II | | II bis | |
|---|---|---|---|
| $-2B$ ——— <+ | . . . . . | . . . . . | $-2B$ ——— |
| $+2A$ ——— | $0C$ ——— | $+2A$ ——— | $+2C$ ——— <− |

u. s. f.

Der Bennett'sche Verdoppler wurde in Bezug auf seine Details mehrfach modificirt von Cavallo und Bohnenberger, welche ihn in

einem eigenen Werke (Beschreibung unterschiedener Electricitäts-Verdoppler, Tübingen 1798) beschrieben hat. Diese Physiker fanden, dass der Apparat zu empfindlich war, weil er immer eine angebbare Electricitätsmenge nach zehn bis zwanzig Manipulationen selbst in dem Falle anzeigte, wo die Platte *A* im Voraus gar nicht electrisirt wurde; es kommt dies daher, dass unvermeidlich eine schwache Spur von Electricität durch die Reibung der Platten, wenn man sie auf einander legt, entwickelt wird, und dass das Spiel des Apparates diese rasch vervielfältigt. Hieraus ergiebt sich eine Fehlerquelle, wenn man sich des Apparates nicht als Electricitätsquelle sondern als eine Art von Mikroskop bedienen will, welches durch Vergrösserung eine für eine directe Messung zu schwache electrische Spannung messbar macht.

Man hat vielleicht schon bemerkt, dass der Multiplicator von Peclet in einen Duplicator, Triplicator etc. verwandelt werden und eine geometrische Progression der Ladungen liefern kann, wenn man nur abwechselnd der obern Platte *C* die Rolle der unteren Platte *A* überträgt und umgekehrt. Wenn man nach $m$ Operationen die Rollen dieser beiden Platten wechselt, so erhält man nach $n$ solchen Wechseln eine Ladung gleich $m^n$. Nehmen wir z. B. $m = 3$, so wird die Fortsetzung der oben gegebenen Tabelle:

Multiplicator mit drei Platten:

| IV | IV bis |
|---|---|
| + *C* ——— | + 3 *C* ——— <−2 |
| − 3 *B* ——— | − 3 *B* ——— |
| + 3 *A* ——— | . . . . . . . |
| . . . . . . . | + 3 *A* ——— |

| V | V bis |
|---|---|
| + 3 *C* ——— | + 6 *C* ——— <−3 |
| − 6 *B* ——— <+3 | − 6 *B* ——— |
| + 3 *A* ——— | . . . . . . . |
| . . . . . . . | + 3 *A* ——— |

| VI | VI bis |
|---|---|
| + 6 *C* ——— | + 9 *C* ——— <−3 |
| − 9 *B* ——— <+3 | − 9 *B* ——— |
| + 3 *A* ——— | . . . . . . . |
| . . . . . . . | + 3 *A* ——— |

VII

$+9C$ ———

$-9B$ ———

$+3A$ ———

. . . . . .

etc. etc.

Die gleiche Wirkung wird mittelst des Multiplicators mit vier Platten von Pfaff und Svanberg erhalten, welchen man aus dem Vorhergehenden ableiten kann, wenn man die mittlere Platte $B$ verdoppelt und die beiden $B$ durch einen Leiter, wie folgt, in Verbindung setzt:

$A$ $C$

$B$ $B'$

Die Reihenfolge der Operationen ist die gleiche wie im Vorhergehenden, wenn man $B$ und $B'$ als die beiden Hälften derselben Scheibe ansieht; das Fluidum geht abwechselnd von $B$ nach $B'$ und von $B'$ nach $B$. Die folgende Tabelle wird den zu verfolgenden Gang deutlicher machen (man hat damit begonnen, dass man $C$ electrisirt):

Multiplicator von Pfaff und Svanberg:

I

. . . . . . . . . . . .

$0A$ ——— $+C$ ———

$0B$ ——— $-B'$ ——— $<+$

I bis

. . . . . $+C$ ———

$+A$ ——— $<-$ . . . . .

$-B$ ——— $-0B'$ ———

Durch die doppelten Operationen II und III bringt man auf $A$ und $B$ beziehungsweise die Mengen $+2A$, $-2B$ und $+3B$, $-3B$. Dann wechseln $A$ und $C$ ihre Rolle und man fährt, wie folgt, fort:

IV

. . . . . . . . . . . .

$+3A$ ——— $+C$ ———

$-3B$ ——— $0B'$ ———

IV bis

$+3A$ ——— . . . . . .

. . . . $+3C$ ——— $<-2$

$0B$ ——— $-3B'$ ———

Die doppelten Operationen V und VI bringen auf $C$ und $B'$ beziehungsweise die Quantitäten $6C$, $-6B'$ und $+9C$, $-9B'$. Man sieht, dass zwei Reihen von drei Operationen eine Ladung $= 3^2$ geben, drei Reihen würden $3^3$ geben etc. Man kann sich fragen, welche die vortheilhafteste Combination für eine gegebene Anzahl von Operationen $m \times n$ ist. Wir haben gesehen, dass das Resultat von $n$ Reihen mit

$n$ Operationen durch $m^n$ ausgedrückt wird; sucht man das Maximum dieser Function für $mn = const.$, so findet man $log\ nat.\ m = 1$, oder $m = 2{,}72$ und die diesem Werthe am nächsten liegende ganze Zahl ist 3. Man erhält also die rascheste Wirkung, wenn man mit Reihen von 3 Operationen vorgeht. Nehmen wir so $mn = 24$ und versuchen wir vorerst $m=2$, $n=12$, dann $m=3$, $n=8$, endlich $m=4$, $n=6$, so wird das Resultat beziehungsweise $2^{12}=4096$, $3^8=6561$, $4^6=4096$; das Maximum entspricht dem Werthe $m=3$.

Fechner soll ein anderes System des Multiplicators ausgesonnen haben; allein ich habe mich darüber nicht näher instruiren können. Folgendes ist das System, welches Töpler bei seiner Maschine angewendet hat, mit der wir uns nun beschäftigen wollen. Dieser Multiplicator hat noch vier Platten, welche sich abwechselnd zu je zweien combiniren. Man beginnt damit, dass man $A$ electrisirt, wodurch $B$ durch Influenz electrisirt wird. Man lässt die Ladung von $B$ auf $C$ übergehen, welches $D$ durch Influenz electrisirt. Die Ladung von $D$ verbindet sich nun mit der, welche auf $A$ zurückgeblieben ist, und die Ladung von $A$, die $+2A$ geworden ist, electrisirt $B$ mit einer doppelten Kraft. Die folgende Tabelle wird das neue System deutlicher machen.

Multiplicator von Töpler:

| I | | I bis | |
|---|---|---|---|
| $+A$ ——— | $0D$ ——— | $+A$ ——— | . . . . . |
| $-B$ ——— $<-1$ | . . . . . | . . . . . | $+D$ ——— $<-1$ |
| . . . . . | $0C$ ——— | $0B$ ——— | $-C$ ——— |

| II | | II bis | |
|---|---|---|---|
| $+2A$ ——— | $0D$ ——— | $+2A$ ——— | . . . . . |
| $-2B$ ——— $<+2$ | . . . . . | . . . . . | $+3D$ ——— $<-3$ |
| . . . . . | $-C$ ——— | $0B$ ——— | $-3C$ ——— |

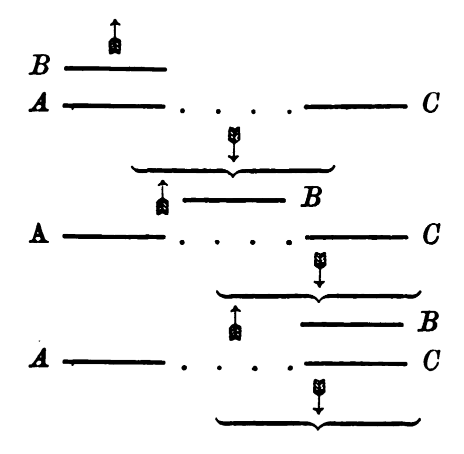
| III | | III bis | |
|---|---|---|---|
| $+5A$ ——— | $0D$ ——— | $+5A$ ——— | . . . . . |
| $-5B$ ——— $<+5$ | . . . . . | . . . . . | $+8D$ ——— $<-8$ |
| . . . . . | $-3C$ ——— | $0B$ ——— | $-8C$ ——— |

Dies giebt für $B$ und $D$ die Progression $-1, +1, -2, +3, -5, +8, -13, +21 \ldots$, welche dadurch erhalten wird, dass man stets jede neue Zahl zur vorhergehenden hinzuaddirt.

Dieses letztere System und das von Bennett können leicht in continuirlich wirkende Maschinen verwandelt werden. Der Duplicator von Bennett erfordert eine hin und her gehende Bewegung, der Multiplicator von Töpler eine Rotationsbewegung.

Der oscillirende Duplicator liesse sich, wie ich glaube, in folgender Weise ausführen. Als Platten würde man mit Metall überzogene Glasscheiben nehmen. $A$ und $C$ würden durch eine einzige Scheibe dargestellt und dabei durch einen nicht metallischen Raum getrennt; um sie in Verbindung zu setzen, würde man sie über einen Metallbogen führen. Die beiden Platten ($A$, $C$) und ($B$) würden vor einander in entgegengesetztem Sinne oscilliren. Wenn $B$ gegenüber von $A$ sein würde, so hätte man daselbst eine Verbindung von $A$ und $C$ und $B$ würde durch einen Draht mit dem Boden in Verbindung gesetzt; wenn $B$ gegenüber von $C$ wäre, würde die Verbindung von $A$ und $C$ unterbrochen und $C$ wäre durch einen anderen Draht mit dem Boden in Verbindung gesetzt. Folgendes Schema giebt die drei Lagen der Platten und der Conductoren am Anfange, in der Mitte und am Ende einer einfachen Oscillation; die Conductoren, welche durch Pfeile dargestellt sind, und der Metallbogen, der durch die Klammer vorgestellt wird, sind als unbeweglich angenommen.

Oscillirender Duplicator:

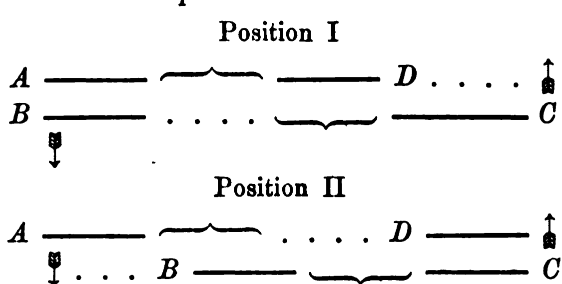



Die Platten könnten in Falzen gleiten oder, wenn man ihnen die

Form von Sectoren geben würde, um eine Rotationsaxe oscilliren. Im letzteren Falle hätte man ein Duplicator-Pendel.

Um den Multiplicator von Töpler auszuführen, muss man zwei bewegliche Platten haben, die sich vor zwei unbeweglichen Platten drehen. Töpler hat dies in folgender Weise durchgeführt: Die Platten haben die Form von Halbkreisen; *A* und *C* sind unbeweglich, *B* dreht sich vor *A*, und *D* vor *C* so, dass sie durch die Rotation abwechselnd übereinander gelegt und getrennt werden; *B* wird über *A* gelegt, wenn *D* von *C* getrennt wird und umgekehrt. Wenn *B* gegenüber von *A* und von *C* getrennt ist, so wird *B* über einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leitungsdraht geführt und *D* unter einen mit *A* verbundenen Draht; wenn dagegen *B* und *A* getrennt ist und *D* gegenüber von *C* steht, so steht *B* mit *C* und *D* mit dem Boden in Verbindung. Das folgende Schema repräsentirt diese beiden Lagen, deren Ensemble eine vollständige Umdrehung bildet.

Töpler's Maschine:




Es hindert nun nichts, die Scheiben, wovon *B* und *D* die Hälften repräsentiren, voll zu nehmen, indem man jede Scheibe durch einen diametralen isolirenden Streifen und zwei halbkreisförmige Sectoren trennt. Es ist dies gerade so, wie wenn man zwei identische Maschinen annehme, wovon die eine gegen die andere um einen halben Umkreis zurück wäre. Man kann also ohne Nachtheil die Position 1 und Position 2, wie folgt, über einander bringen.

Complete Maschine von Töpler:

A D D' C B B'

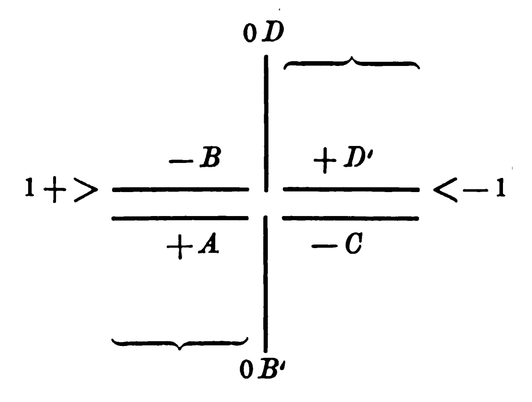
Die Platten *A*, *B*, *D* und *C*, *B'*, *D'* bilden zwei getrennte Systeme, welche sich in keiner Weise stören und die Ableitung der Fluida durch die Conductoren ↧ ↥, welche *B* und *C* gegenüber stehen, hat

fast ohne Unterbrechung statt. Verbindet man diese Conductoren mit einander, anstatt sie mit dem Boden in Verbindung zu setzen, so erhält man einen Funkenstrom.

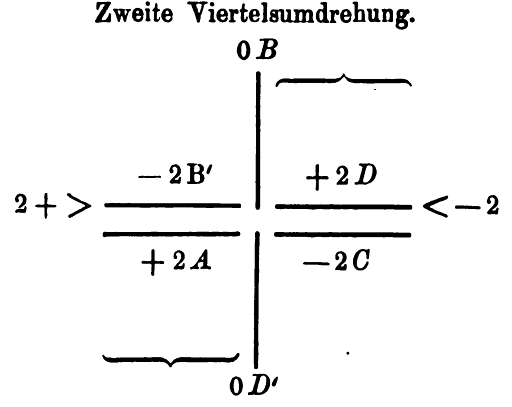
Die Unbequemlichkeit der Töpler'schen Construction besteht darin, dass sie zwei unbewegliche und zwei rotirende Scheiben fordert. Töpler sagt in seiner letzten Abhandlung, dass er mehrere neue Anordnungen versucht habe, allein ohne grossen Erfolg. Eine solche ist folgende: Wenn man, anstatt halbkreisförmige Platten anzuwenden, Quadranten nimmt, so hat man die Platten $B$, $B'$, $D$, $D'$ auf einer einzigen rotirenden Scheibe, welcher man dann die beiden festen Quadranten $A$ und $C$ gegenüber stellt. $A$ bleibt immer positiv, $C$ immer negativ, jede bewegliche Platte wird während des ersten halben Umganges positiv, während des zweiten negativ electrisirt. Wenn die zwei beweglichen Platten vor $A$ und $C$ vorübergehen, so laden sie sich, indem die entgegengesetzten Fluida in die beiden Conductoren, welche $A$ und $C$ gegenüber stehen, abfliessen; die beiden anderen Platten sind gleichzeitig in Verbindung, die eine mit $A$, die andere mit $C$, und die Fluida, womit sie geladen sind, werden auf die Platten $A$, $C$ übertragen. Folgendes ist der Plan dieser Maschine, wobei die Drehung von der Linken zur Rechten geht.

### Rotations-Duplicator:

Erste Viertelsumdrehung.



Zweite Viertelsumdrehung.




In der ersten Figur steht $B'$ mit $A$ in Verbindung und $D$ mit $C$, während $B$ und $D'$ sich laden und Electricität auf die Conductoren überführen; in der zweiten Figur hat $D'$ die Stelle von $B'$ eingenommen und steht mit $A$ in Verbindung, $B$ hat die Stelle von $D$ eingenommen und steht mit $C$ in Verbindung; gleichzeitig laden sich $B$ und $D$ und geben ihre freien Fluida an die beiden Conductoren ab.

Ich habe angenommen, dass $A$ und $C$ ursprünglich electrisirt worden sind; dann werden die Spannungen nach einer vollständigen Umdrehung 8, nach zwei Umdrehungen 64, nach $m$ Umdrehungen $8^m$; wäre nur einer der Sectoren $A$, $C$ von Anfang an electrisirt, so würde das Resultat $^1/_2 8^m$ sein. Bei diesen Formeln sind übrigens eine Reihe von Nebenumständen vernachlässigt, welche bewirken, dass die Resultate in Wirklichkeit viel geringer ausfallen.

Töpler hat selbst gefunden, dass die obige Combination keine guten Resultate giebt, weil die Discontinuität der Sectoren, welche sich abwechselnd mit positiver und negativer Electricität laden müssen, Umkehrungen des Stromes veranlasst. Man muss also die beiden festen Platten und die beiden rotirenden Scheiben beibehalten, wovon jede in einem einzigen Sinne electrisirt wird. Die Töpler'sche Maschine, welche von Wesselhöft in der Russischen Section ausgestellt wurde, hat einen Generator dieser Construction; man sieht daselbst an der Stelle der beiden Halbkreise einer jeden rotirenden Scheibe vier Quadranten. Man verstärkt den Strom des Generators dadurch, dass man ihn durch eine Reihe von Platten und in analoger Weise angeordneten Scheiben gehen lässt; alle Scheiben rotiren um dieselbe Axe und ihre vereinigte Wirkung erzeugt sehr intensive Ströme mit einer ursprünglich unbedeutenden Ladung.

Eine so empfindliche Maschine muss durch die einfache Reibung der Conductoren, welche an der Oberfläche der Platten streifen, von selbst electrisirt werden. Wirklich hat dies Töpler oft bei seiner Maschine wahrgenommen; wir haben oben gesehen, dass auch der Bennett'sche Duplicator die gleiche Erscheinung zeigte.

Es ist nun anzuführen, dass Darwin (1787) einen Rotationsduplicator angegeben hat, welcher aus vier Platten besteht, wovon zwei beweglich sind; ein Räderwerk brachte sie in alternirende Stellungen und man berührte sie mit dem Finger, um sie zu laden. Dies zeigt, dass Darwin nicht die Herstellung eines Electricitätserregers, sondern blos die eines Electroscopes im Auge hatte, weil er nicht die nach aussen abgestossenen Fluida verwerthete. Ein Jahr später theilte Nicholson der königlichen Societät in London einen Rotationsduplicator (*revolving doubler*) mit, der aus drei Platten und einer Kugel bestand, aber nach einem von den beschriebenen verschiedenen Systeme construirt war.[1]) Die bewegliche Platte *B* bewegte sich immer vor den unbeweglichen Platten *A* und *C*. Wenn sie vor *A* war, so stand sie mit einer hohlen Messingkugel in Verbindung, die im voraus mit positiver Electricität geladen war. Gleichzeitig stand dann *A* mit *C* in Verbindung. Die Electricität der Kugel ging auf *B* über, das Fluidum $+B$ fixirte $-A$ und *C* wurde positiv geladen, denn man berührte die Platten nicht und die Fluida, welche getrennt wurden, waren gezwungen, daselbst zu bleiben und sich zu vertheilen. Kam dann *B* vor *C* zu stehen, so wurde diese letztere Platte mit der Kugel in Verbindung gesetzt und gab ihr positive Electricität ab, während sie selbst negativ electrisirt wurde. Das Spiel dieses Apparates lässt sich auf folgende Weise darstellen.

Duplicator von Nicholson:

I

$+B$ —— { —— $0D$
$-A$ —— ⏟ —— $+C$

I bis

$+2D$ —— } —— $+B$
$-A$ —— —— $-C$

II

$+3B$ —— { —— $0D$
$-3A$ —— ⏟ —— $+C$

II bis

$+4D$ —— } —— $+3B$
$-3A$ —— —— $-3C$

1) Philosophical Transactions, 1798 II. — Gren's Journal, II, 61; Bibliothèque britannique, 1798; Annalis de chimie, XXIV, 327.

III

$+7B$ ——— { ——— $0D$
$-7A$ ——— ⁓ ——— $+C$

III bis

$+8D$ ——— } ——— $+7B$
$-7A$ ——— ——— $-7C$

Bohnenberger hat diesen Apparat abgeändert, indem er die Rotationsbewegung der Platte $B$ durch eine hin und her gehende Bewegung ersetzte. Er hat constatirt, dass der Nicholson'sche Duplicator nie so gut functionnirte, als der von Bennett. Die Construction des ersteren lässt sich jedoch auf die des zweiten zurückführen, wenn man die beiden Conductoren von Bennett nicht mehr zum Boden, sondern zur Kugel $D$ gehen lässt. Man könnte dann den Apparat von Nicholson wie den oben von mir angegebenen oscillirenden Duplicator anordnen.

Moigno und Raillard hat im Jahre 1839 einen Duplicator mit vier Platten ausführen lassen, welche mit einer Kurbel bewegt wurden und womit kräftige Funken erhalten wurden. „Damals, sagt Moigno [1]), war leider der Kautschuk und die Guttapercha noch nicht für electrische Zwecke angewendet worden, die Condensatorplatten waren getrennt und durch Glasplatten isolirt, deren Dicke viel zu gross war, welche viel zu viel Geräusch machten und häufig zerbrachen. Wir begnügten uns deshalb mit einem theoretischen Erfolge . . .“

Goodman zu Birmingham hat gleichfalls versucht, einen derartigen Apparat zu construiren, um ihn zur Wasserzersetzung zu benutzen; allein kein befriedigendes Resultat erhalten [2]).

Töpler, Professor am polytechnischen Institute, hat seine Machine bekannt gemacht zuerst in der Rigaer Zeitung vom 7. Januar 1865, dann in den Annalen von Poggendorff (1865 No. 7, 1866 No. 2 und 1867). Zu gleicher Zeit construirte W. Holtz in Berlin eine andere Electrisirmaschine ohne Reibung, bei welcher eine Glasscheibe, d. h. eine isolirende Substanz, die Rolle des Condensators übernimmt. Diese Maschine wurde der Berliner Academie von Poggendorff im April 1865 vorgezeigt und von Holtz selbst in den Annalen von Poggendorff (1865 No. 9 und 1866 No. 2) beschrieben. Sie giebt beträchtlichere Spannungen als die Töpler'sche Maschine und liefert ebenso glänzende Funken wie die Inductionsapparate. Wir wollen

1) Les Mondes, 23. Mai 1867 p. 165.
2) Sturgeon, Ann. of electricity vol. VI. 1841.

versuchen, das Princip zu veranschaulichen, wenngleich beim Spiele der Holtz'schen Maschine noch viele unerklärte Puncte vorhanden sind.

Das wesentliche Element dieser Maschine ist eine Art rotirenden Electrophors. Man denke sich eine in Rotation versetzte Glasscheibe vor einer anderen Scheibe, welche an einem Puncte ihres Umfanges eine direct electrisirende Papierbelegung trägt, während sie am entgegengesetzten Puncte des Umfanges mit einem mehr oder weniger beträchtlichen Ausschnitte (Durchbrechung) versehen ist. Man kann selbst anstatt einer solchen, mit einer Durchbrechung versehenen Scheibe, einfach eine halbe Scheibe anwenden, wie dies später Töpler gethan hat. Vor der rotirenden Scheibe, auf der entgegengesetzten Seite von der festen Scheibe befinden sich zwei Conductoren, der eine in der Höhe der Durchbrechung, der andere vor der Papierbelegung. Die Electricität des Papiers, welche wir negativ annehmen wollen, polarisirt die Fluida auf der entgegengesetzten Seite der beweglichen Scheibe, die negative Electricität entweicht durch den Conductor, die positive Electricität wird durch das negative Fludium der Papierbelegung angezogen. Entfernt die Rotation diese positive Electricität aus der Nähe der Belegung, so wird ein Theil frei, allein ein anderer Theil wird durch das Glas der festen Scheibe angezogen, auf welcher er bei der Umdrehung die Fluida polarisirt. Nach einer halben Umdrehung befindet sich die gleiche positive Electricität der Durchbrechung gegenüber, sie wird vollständig frei und geht in den zweiten Conductor über. Man kann diese drei Phasen durch das folgende Diagramm darstellen.

| — ↑ | + | + ↑ | Bewegliche Scheibe. |
|---|---|---|---|
| + | | | |
| Belegung — | — | Durch- | |
| | + | brechung | Feste Scheibe. |

Man wird auf diese Weise durch fortgesetztes Drehen einen continuirlichen Strom zwischen den beiden Conductoren, welche die entgegengesetzten Fluida aufnehmen, erhalten; allein man wird der Belegung beständig Electricität mittheilen müssen, weil sich diese sonst bald erschöpfen würde. Man kann dies, indem man das Princip der Duplicatoren anwendet. Man kann z. B., wie dies Töpler bei einem Studienapparate gethan hat, zwei rotirende Scheiben und zwei feste Platten anbringen, so dass die positive Electricität der ersten rotirenden

Scheibe in die Belegung der zweiten Platte, und die negative Electricität der zweiten Scheibe in die Belegung der ersten Platte geführt wird.

Erste Scheibe . . . — +
+
— A
+ A
Zweite Scheibe . . — —
+

Holtz hat diese Anordnung auf eine einzige Scheibe zusammengebracht, welche vor einer festen Scheibe rotirt, die zwei Belegungen neben zwei Durchbrechungen hat; die Durchbrechungen gehen dem Sinne der Rotation nach den Belegungen voran. Nehmen wir an, dass die Belegung $-A$ negative Electricität in den ersten Conductor treibe und dass positive Electricität, durch die Rotation der Scheibe fortgeführt, an der entgegengesetzten Durchbrechung auftrete: so wird ein Theil in den zweiten Conductor, ein anderer in die Belegung $+A$ gehen, welche sich vor dieser Durchbrechung befindet. Der so depolarisirte Theil der Scheibe wird nun wieder in entgegengesetztem Sinne durch die Armatur $+A$ polarisirt; er wird positive Electricität an den positiven Conductor abgeben und negative Electricität in die Belegung $-A$ und zum negativen Conductor bringen.

Maschine von Holtz:

Erste halbe Umdrehung.

— +
+
— A — + A

Zweite halbe Umdrehung.

— +
—
— A — + A

Während der Rotation wird die Hälfte der beweglichen Scheibe, vor welche die auf der beweglichen Scheibe durch die Belegung $-A$ frei gewordene positive Electricität tritt, im entgegengesetzten Sinne polarisirt wie die andere Hälfte, wo die durch die Belegung $+A$ frei

gewordene negative Electricität hinzieht. Anstatt zweier Belegungen und zweier Durchbrechungen (die zusammen zwei Elemente bilden) kann man vier, sechs etc. anwenden, die symmetrisch am Umkreis der festen Platte angeordnet sind. Durch Vermehrung der Anzahl der Elemente wächst die Quantität Electricität, während gleichzeitig die Schlagweite abnimmt.

Bertsch hat im vergangenen Jahre versucht, diesen Apparat dadurch zu vereinfachen, dass er die feste Scheibe mit den Papierbelegungen durch einen oder mehrere Sectoren einer isolirenden Substanz (Hartkautschuk) ersetzte, welche man von vornherein durch Reiben electrisirt. Allein die Maschine von Bertsch scheint mehr ein einfacher Electrophor mit continuirlicher Wirkung zu sein, als ein Multiplicator, wie dies die Holtz'sche Maschine ist, denn es ist schwierig anzunehmen, dass die Sectoren beim Zurückkehren der rotirenden Scheibe, deren Fluida sie polarisiren, irgend etwas wieder aufnehmen. Die Leydener Flasche, welche einen Theil der in der französischen Section ausgestellten Bertsch'schen Maschine ausmacht, ist wahrscheinlich unumgänglich nothwendig. Vor Bertsch hat Piche eine der beschriebenen identische Anordnung vorgeschlagen bis auf den Punct, dass Piche eine Scheibe aus starkem Papier anwendet und einen oder mehrere feste Sectoren, gleichfalls aus Papier, welche man im Voraus electrisirt. Wahrscheinlich muss man hier das Papier als eine unvollkommen isolirende Substanz betrachten; Piche räth übrigens, die Scheibe mit einer Schellackschicht zu überziehen.

Töpler hat eine Reihe von vergleichenden Versuchen über die Maschinen ohne Reibung angestellt, sowohl mit belegter Scheibe (Töpler's System) als mit unbelegter Scheibe (Holtz's System). Aus dieser Prüfung ergiebt sich:

1) Die Apparate mit rotirenden Isolatoren (Holtz) geben continuirliche Ströme und sehr beträchtliche Spannungswirkungen. Sie müssen kräftig erregt werden und erfordern eine sehr vollkommene Isolation in allen ihren Theilen.[1])

2) Die Apparate mit metallisch belegten Scheiben (Töpler) geben discontinuirliche Ströme, wegen der unvermeidlichen Trennung der

1) Morton hat eine Holtz'sche Maschine ohne wahrnehmbaren Grund ihre Wirkung verlieren sehen; es fand sich, dass eine Zerstörung der Papierbelegungen herbeigeführt war. Die Beschaffenheit des Glases ist gleichfalls von Wichtigkeit; viele Gläser isoliren gar nicht.



Sectoren auf den beweglichen Scheiben und weil ihre Schlagweite begrenzt ist. Dagegen sind sie empfindlicher, functioniren sicherer und können sich von selbst laden. Die beste Combination wäre wohl die eines Generators nach diesem System mit einem einfachen rotirenden Electrophor, der aus einem Holtz'schen Elemente bestände.

Die Holtz'sche Maschine bildet rasch eine ausserordentliche Quantität von Spannungselectricität: es ist dies bei ihrer Functionirungsweise von selbst klar. Sie kann den Inductionsapparat ersetzen, um das geschichtete Licht in den Geissler'schen Röhren zu erzeugen, um Wasser zu zersetzen etc. Eine Scheibe von 30 Centimetern mit zwei Elementen giebt Funken von 8 Centimeter Länge, eine Scheibe von 50 Centimeter Länge würde Funken von 13 Centimeter geben etc.

---

Im Bulletin de la Sociètè d'Encouragement (Mai 1867) befindet sich die genaue Zeichnung der von Bertsch ausgestellten Maschine; dieselbe ist auf Tafel XVII wiedergegeben. Am genannten Orte ist auch die folgende Beschreibung des Apparates beigefügt.

Die Maschine besteht aus einer dünnen Scheibe einer möglichst gut isolirenden Substanz, die sich auf einer gleichfalls isolirenden Axe befindet und 10 bis 15 Umdrehungen in der Secunde vollführen kann. Vor dieser Scheibe befinden sich zwei Collectoren mit Rechen, welche von einander isolirt sind und zum Durchmesser der Scheibe parallel stehen; diese beiden Collectoren endigen in zwei Electroden, die man einander nähern oder von einander entfernen kann. Ein Conductor mit grosser Oberfläche ist mit einem dieser Organe verbunden, um die Spannung zu vermehren.

Um die Maschine in Thätigkeit zu versetzen, nimmt man einen Sector von derselben Substanz wie die Scheibe, welcher die Form eines gleichseitigen Dreiecks hat. Man geht mehrere Male mit der flachen Hand über eine seiner Flächen, um das electrische Gleichgewicht aufzuheben und stellt ihn dann in geringer Entfernung von der Scheibe hinter dieser dem einen der Collectoren gegenüber auf.

Der Apparat ist nun im Stande zu functionniren. Der dem Sector gegenüberliegende Theil der passiven Scheibe wird nämlich durch Induction polarisirt wie die Metallscheibe des Electrophors. Setzt man dann die Scheibe in Drehung, so erfahren alle ihre Theile der Reihe nach in sehr kurzer Zeit diese partielle Polarisation und das beständig gestörte Gleichgewicht wird rasch durch die beiden Electroden wieder

hergestellt, zwischen welchen in rascher Aufeinanderfolge Funken auftreten.[1])

Bringt man hinter den ersten Sector einen zweiten, dritten Sector, so verdoppelt oder verdreifacht man die Quantität Electricität in der Zeiteinheit, so dass es immer leicht ist, in einigen Secunden die Ladung grosser Batterien zu erhalten. Die mechanischen und Wärme-Wirkungen dieser Scheibe, deren Durchmesser nur 0m,47 beträgt, sind bedeutend. Sie giebt Funken von 0m,12 bis 0m,15 Länge, welche ein Glas von 0m,008 bis 0m,010 Dicke durchbohren; sie erleuchtet Geissler'sche Röhren von mehr als 2 Meter Länge etc.

Erklärung der Tafel.

Fig. 1 giebt die Vorderansicht des Apparates von der Seite der bewegenden Rolle.

Fig. 2 die Seitenansicht.

Fig. 3 die Ansicht von oben.

Fig. 4 und 5 sind zwei Sectoren von verschiedener Grösse.

*A* ist die Bodenplatte des Apparates.

*B* die Scheibe von Hartkautschuk.

*C* die isolirte Axe der Scheibe *B*.

*D*, *D* die rechenförmigen Collectoren mit Metallspitzen; sie stehen senkrecht gegen die Scheibenfläche und in demselben Diameter.

*E*, *E* sind die an den Enden eines jeden der Collectoren *D* angebrachten Electroden; sie endigen in Kugeln und können je nach der ihnen gegebenen Neigung nach Belieben von einander entfernt oder einander bis zur Berührung genähert werden; zwischen diesen beiden Kugeln entsteht der electrische Funke.

*F* ist der Conductor mit grosser Oberfläche, der mit dem oberen Collector *D* verbunden ist, um die Spannung zu vermehren.

*G*, *G* sind die oben bezeichneten Kautschuksectoren.

*H* ist die mit einer Kurbel versehene Drehrolle.

*I*, *I* sind weitere Rollen, welche die Bewegung der Rolle *H* auf die Axe *C* übertragen.

1) Bringt man, wie dies die Figur zeigt, vor jeden Rechen einen entgegengesetzten electrisirten Sector, so wird die Maschine symmetrischer und entspricht besser der Theorie; allein dies complicirt die Construction so wie die in Gang Setzung. Es ist besser die beiden electrisirten Sectoren vor einander und zugleich vor die unteren Rechen zu bringen; die Wirkung wird dann gleichfalls kräftig.

## Die Dynamoelectrischen Maschinen.

Bereits auf Seite 189 des letzten Heftes haben wir unsern Lesern eine neue Entdeckung im Gebiete der Electricitätslehre bekannt gegeben, bei welcher mittelst einer geringen Quantität von remanentem Magnetismus bedeutende Wirkungen erzielt werden; wir haben daselbst die Vorrichtungen, welche von Siemens und Wheatstone zu diesem Zwecke erdacht wurden, so weit uns dies möglich war, angegeben. Die Maschine von Siemens befindet sich auf der Ausstellung, wir konnten dieselbe jedoch nicht in Thätigkeit sehen.

Dagegen haben wir die neue Maschine von Ladd, Verfertiger von physikalischen Instrumenten in London, durch die Güte des Herrn A. Leski, welcher Ladd auf der Ausstellung vertritt, in Function gesehen und uns von der enormen Wirkung dieses Apparates überzeugt. Es war uns nicht möglich eine Zeichnung der Maschine zu erhalten, und wir können deshalb, da es verboten war im Industriepalaste zu zeichnen, nichts als eine rohe Skizze des Ganzen geben, welche Figur 5 Tafel XX zeigt. Die Maschine besteht aus zwei horizontal liegenden, geraden Electromagneten *AA* mit flachen Eisenkernen von $60^{cm}$ Länge, $30^{cm}$ Breite und $10^{cm}$ Dicke. Sie sind in einem Abstande von einigen Centimetern von einander mit ihren Enden an die beiden Ansätze *B* und *C* befestigt, welche gleichfalls aus weichem Eisen bestehen und in ihrem Innern ausgehöhlt sind, um zwei Siemens'sche Armaturen in sich aufzunehmen. Der Draht der Armatur bei *B* ist in den Schliessungskreis der beiden Electromagnete eingeschaltet; die Drahtenden der Armatur *C* gehen zu den Klemmen *k,k*. Bei *B* und *C* sind Commutatoren angebracht, welche den Zweck haben, den inducirten alternirenden Strömen gleiche Richtung zu ertheilen. Die beiden Armaturen werden mittelst einer Dampfmaschine in Rotation versetzt. Die Maschine wurde ursprünglich mit einem einfachen Smee'schen Elemente angeregt; gegenwärtig hat sie keine andere Anregung mehr nöthig, als die Rotation der Armaturen selbst, um Wirkungen zu geben, welche etwa 40 Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen entsprechen. Die Maschine zeigt an einem in die Klemmen eingeschalteten Kohlenlichtregulator das electrische Licht in grosser Intensität; sie ist im Stande, einen Platindraht von 1 Meter Länge und $^1/_2$ Millimeter Dicke seiner ganzen Länge nach zum Glühen zu bringen u. s. f.

---

## Die magnetelectrische Maschine von Nollet.

Das von Clarke bei seinem magnetelectrischen Apparate benutzte Princip hat in den letzten Jahren eine wichtige Anwendung bei der magnetelectrischen Maschine von Nollet gefunden.

Nollet, Professor der Physik in der Militärschule zu Brüssel und ein Abkömmling des im vorigen Jahrhunderte als Physiker berühmten Abbé Nollet, hatte sich vorgenommen, die durch seine im Jahre 1850 erfundene Maschine erzeugten Ströme zur Wasserzersetzung zu verwenden und dann das hiebei entwickelte Wasserstoffgas für die Beleuchtung zu verwerthen; der Erfolg entsprach nicht seinen Erwartungen und er starb bald darauf. Glücklicherweise kam die Maschine nach seinem Tode in die Hände von J. Van Malderen, welcher dieselbe bedeutend verbesserte und für electrische Beleuchtung anwandte.

Die Maschine ist gegenwärtig Eigenthum der Allianzcompagnie und diese Gesellschaft hat eine solche Maschine, welche für Dünkirchen bestimmt ist, zur Ausstellung gebracht. Die Maschine befindet sich im Parke in einem Leuchtthurmmodelle und ist mit zwei grossen, in verschiedenen Stockwerken befindlichen Serrin'schen Kohlenlichtregulatoren verbunden, welche den Besuchern des Parkes am Abend das electrische Licht mit der grössten Pracht entfalten.

Da die Nollet'sche Maschine in Deutschland noch nicht allgemein bekannt ist, so wollen wir dieselbe etwas näher beschreiben. Figur 1 Tafel XX zeigt eine solche Maschine[1]), welche sich von der auf der Ausstellung befindlichen nur ganz wenig (blos durch die geringere Anzahl der Magnete) unterscheidet. Sie besteht aus einem gusseisernen Gestelle von 1,65 Meter Höhe, an welchem ringsherum auf hölzernen Balken acht Reihen von je fünf magnetischen Magazinen *A*, *A*, *A* . . angebracht sind. Diese Magazine, deren jedes 60 bis 70 Kilogramm Tragkraft besitzt, sind hufeisenförmig in der Art gruppirt, dass man immer die ungleichnamigen Pole vor sich hat, man mag sie in einer zur Axe des Gestelles parallelen oder in einer darauf senkrechten Ebene betrachten. In jeder Reihe sind die äusseren Magazine aus drei einfachen Hufeisenmagneten zusammengesetzt, während die drei dazwischen liegenden Magazine aus je sechs Magneten bestehen, da sie nach beiden Seiten hin wirken, während die ersteren blos nach

1) Ganot. Traité de physique. 10me édiction. Paris 1866 p. 778.

einer Seite hin eine Wirkung ausüben. Auf einer horizontalen, eisernen Axe, die von einem Ende des Gestelles zum andern geht, sind vier Messingwalzen befestigt, deren jede den Zwischenräumen der verticalen Reihen der magnetischen Magazine entspricht. Jede dieser Walzen trägt an ihrem Umfange 16 mit Draht umwickelte Rollen, es sind also eben so viele als sich in einer verticalen Reihe Magnetpole befinden. Diese Rollen, welche Figur 2 darstellt, sind nicht mit einem, sondern mit 12 Drähten von je $10^{m},50$ Länge umwickelt, wodurch man an Quantität gewinnt und den Widerstand vermindert. Die Windungen der Rollen sind durch in Terpentinöl aufgelöstes Judenpech isolirt. Ferner sind die Eisenkerne, auf welche sie gewunden sind, nicht massiv, sondern ihrer ganzen Länge nach aufgeschlitzte eiserne Rohre, was sowohl für das Magnetisiren als das Entmagnetisiren zweckmässiger ist, wenn die Rollen vor den Polen der Magnete vorbeigehen. Die Kupferscheiben, welche die Rollen begrenzen, sind im radialen Sinne aufgeschnitten, um die Entstehung von inducirten Strömen in diesen Scheiben zu verhindern. Da die vier Walzen mit je 16 Rollen versehen sind, so hat man im Ganzen 64 Rollen, die in 16 horizontalen Reihen zu vieren angebracht sind, wie man dies bei *D* (Figur 1) an der linken Seite des Gestelles sieht. Da die Länge der Drähte an einer Rolle $12 \times 10^{m},50 = 126^{m}$ beträgt, so ist die gesammte Drahtlänge im ganzen Apparate $64 \times 126^{m} = 8064^{m}$.

Auf allen Rollen sind die Drähte in der gleichen Richtung aufgewunden und es stehen diese Drähte nicht blos auf derselben Walze, sondern auf allen vier Walzen mit einander in Verbindung. Zu diesem Behufe sind die Rollen auf die aus Figur 2 ersichtliche Weise mit einander verbunden. Auf der ersten Walze laufen die zwölf Drähte der ersten Rolle *x* in einen Kupferstreifen *m* aus, der durch einen Draht *O* mit der Mitte der die Walzen tragenden Axe in Verbindung steht. Am anderen Ende, auf der zweiten Fläche der Rolle sind dieselben Drähte an einem, durch eine punctirte Linie dargestellten Streifen angelöthet, der sie mit der Rolle *y* verbindet; von dieser nun sind sie durch einen Streifen *i* zur Rolle *z* geführt und so fort durch die Rollen *t*, *u* . . . bis zur letzten Rolle *v*. Hier laufen die Drähte dieser Rolle zu einem Streifen *n*, welcher durch die erste Walze hindurch geht und an die Drähte der ersten Rolle der folgenden Walze angelöthet ist, auf der sich dann die gleiche Verbindungsweise wiederholt. Hierauf gehen die Drähte zur dritten Walze, von da zur vierten

und endlich zum hinteren Ende der Axe. Die Rollen sind also auf diese Weise wie eine Anzahl von Elementen zur Säule verbunden; man hat hohe Spannung. Will man dagegen Quantität erhalten, so setzt man die Kupferstreifen nicht mehr miteinander, sondern durch zwei Metallringe der Art in Verbindung, dass alle gleichnamigen Enden mit demselben Ringe verbunden werden, dass also jeder dieser Ringe dann einen Pol bildet.

Nach diesen Bemerkungen kann man sich nun leicht Rechenschaft geben, wie die Electricität erzeugt wird und sich im Apparate fortpflanzt. Ein Riemen ohne Ende, der durch eine Dampfmaschine bewegt wird, geht über eine Rolle, welche am Ende der die Walzen mit den Drahtrollen tragenden Axe befestigt ist, und ertheilt dem ganzen Systeme eine mehr oder weniger rasche Rotationsbewegung. Die Erfahrung hat ergeben, dass um das Maximum an Licht zu erhalten, die geeignetste Geschwindigkeit die von 235 Umdrehungen in der Minute ist. Betrachtet man nun während dieser Rotation vorerst eine einzige Rolle, so erfährt der weiche röhrenförmige Eisenkern, über welchen der Draht gewickelt ist, beim Vorübergange vor den Polen der Magnete an seinen beiden Enden eine entgegengesetzte Induction, deren Wirkungen sich addiren, aber beständig den Pol wechseln. Da nun diese Eisenkerne während einer Umdrehung der Reihe nach vor sechszehn, abwechselnd ungleichnamigen Polen vorüber gehen, so werden sie acht mal in einem Sinne, acht mal im entgegengesetzten Sinne magnetisch. Gleichzeitig werden in der Rolle acht directe und acht entgegengesetzte indirecte Ströme erzeugt; im Ganzen also sechszehn Ströme in der Umdrehung. Bei der Geschwindigkeit von 235 Umläufen in der Minute hat man während dieser Zeit 235 mal 16, das ist 3760 Ströme von abwechseld entgegengesetzter Richtung. Die gleiche Erscheinung tritt in jeder der 64 Rollen auf; da sie aber alle in der gleichen Richtung aufgewunden und mit einander verbunden sind, so vereinigen sich ihre Wirkungen und man hat immer die gleiche Anzahl von Strömen, nur sind dieselben intensiver.

Um diese Ströme für die Erzeugung von starkem electrischen Licht zu verwerthen, ordnet man die Verbindungen an, wie es die Figur 4 zeigt. Hinten läuft die letzte Rolle $x$ der vierten Walze in einen Draht $G$ aus, der zu der die Walzen tragenden Axe $MN$ geht; der Strom wird also von der Axe aus durch die ganze Maschine hindurchgeführt, von wo man ihn dann zu einem beliebigen Punct

leiten kann. An der Vorderseite steht die erste Rolle $x$ der ersten Walze durch einen Draht $O$ nicht mehr mit der Axe selbst, sondern mit einem Stahlcylinder $c$ in Verbindung, welcher in die Axe hineingeht, von ihr aber durch einen Elfenbeinmantel isolirt ist. Die Schraube $e$, welche den Draht $O$ aufnimmt, ist selbst wieder durch Elfenbein isolirt. Vom Cylinder $c$ geht der Strom zu einem festen Metallstück $K$ und von da in den Draht $H$, welcher zur Klemme $a$ der Figur 1 geleitet ist. Die Klemme $b$ steht mit dem ganzen Gestelle und also auch mit dem Drahte der letzten Rolle $x'$ (Figur 4) in Verbindung. Von den Klemmen $a$ und $b$ wird der Strom zum Kohlenlichtregulator geleitet.

Bei der beschriebenen Maschine werden die entgegengesetzt gerichteten Ströme nicht in gleiche Richtung gebracht; jede Kohle wird also abwechselnd positiv und negativ, sie werden also gleich schnell verzehrt. Die Erfahrung hat ergeben, dass es, so lange man die Ströme zur Lichterzeugung verwendet, nicht nöthig ist, sie in die gleiche Richtung zu bringen; will man dieselben aber zu Galvanoplastik oder zur Magnetisirung verwenden, so muss man sie in gleiche Richtung bringen, was mit Hülfe eines Commutators geschieht.

Das von der Nollet'schen Maschine erzeugte Licht ist sehr intensiv; mittelst einer Maschine mit vier nach Quantität montirten Walzen erhält man ein Licht, das 150 Carcel'schen Lampen gleichkommt. Mittelst einer Maschine mit sechs Walzen (wie die auf der Ausstellung befindliche) erhält man ein Licht, das sogar 200 Carcel'schen Lampen entspricht.

Dies ist die von Ganot in seinem Lehrbuche der Physik gegebene Beschreibung der Maschine; wir wollen nur noch hinzufügen, dass Ruhmkorff eine kleine Nollet'sche Maschine mit einer Walze zum Gebrauch für physikalische Cabinete ausgestellt hat.

---

## Die Lamont'schen Variationsinstrumente für Erdmagnetismus.

Die von Lamont construirten Instrumente für Bestimmung der Variationen der Declination, Inclination und Horizontalintensität des Erdmagnetismus haben unter allen magnetischen Observatorien das vollständigste Beobachtungsmaterial dieser drei Elemente geliefert. Trotzdem wurden dieselben nicht so bekannt, als sie es verdienten,

und dies war der Grund, warum der Herausgeber diese Instrumente zur Ausstellung bringen zu müssen glaubte. Leider war die Aufstellung der Instrumente eine der Art ungünstige[1]), dass viele Besucher der Ausstellung dieselben ganz übersehen haben werden. Es möchte deshalb im Interesse der Sache gelegen sein, die Beschreibung der Variationsinstrumente, wie sie von Lamont im IV Supplementbande der Annalen der Münchener Sternwarte gegeben hat, hier folgen zu lassen.

Diese Instrumente sind in ihrer neuesten Form durch Figur 1 ff. Tafel XVI gegeben. Die Magnetgehäuse bestehen:

1) aus einem starken messingenen Ringe, in welchem die Fussschrauben angebracht sind;

2) aus zwei Glaskapseln, durch welche die Magnete eingeschlossen werden;

3) aus dem viereckigen verschlossenen Raum, wo der Magnetspiegel sich befindet;

4) aus dem Messingrohre, wo der Suspensionsfaden hängt.

Die Form und relative Grösse der einzelnen Theile ersieht man zunächst aus der perspectivischen Ansicht Figur 1.

Der messingene Ring und die Fussschrauben bedürfen keiner

---

1) Die Bayerische Ausstellungscommission hatte mir eine Tischfläche von 1,5 Quadratmeter bewilligt. Ich übergab einen Plan, wie auf diesem Raume die Aufstellung meiner Instrumente bewerkstelligt werden solle, in halber natürlicher Grösse demjenigen Herrn, welcher die Austheilung der Plätze in dem gemeinschaftlichen Schranke der Bayerischen Aussteller der XII. Classe besorgte. Ich sandte die Instrumente der Art verpackt ab, dass mittelst obigen Planes, so wie einiger beigelegten Zeichnungen und einer Photographie die Aufstellung leicht von Jedermann bewerkstelligt werden konnte. Als ich im Juli selbst nach Paris kam, fand ich

1) dass die Instrumente nicht auf einer Tischfläche standen, sondern in zwei ganz unpassende Schränke hineingebracht waren, wovon der eine gar nicht meinen Namen, sondern die Firma Gebrüder Knie trug;

2) dass man, um das von mir ausgestellte Galvanometer in den Schrank zu bringen, einen Fuss desselben abgeschraubt hatte; die Scala aufzusetzen war bei der geringen Tiefe des Schrankes gar nicht möglich. Ferner war der Schrank nicht lang genug und musste das Galvanometerfernrohr in eine höchst komische Lage herumgedreht werden;

3) musste bei den Variationsinstrumenten die Ablesevorrichtung von diesen getrennt aufgestellt werden etc. etc.

Ich glaubte diese Bemerkungen für diejenigen meiner Leser, welche die Ausstellung besuchten, zu meiner eigenen Rechtfertigung hier einfügen zu müssen.

näheren Erklärung. Der Ring befindet sich zwar unter den Magnetpolen, jedoch in solcher Entfernung, dass eine wahrnehmbare Anziehung nur dann zu befürchten wäre, wenn das Messing eine ungewöhnliche Eisenmenge enthielte; wäre aber auch eine Anziehung vorhanden, so würde durch die Bestimmungsmethode des Werthes der Scalentheile der Einfluss in Rechnung gebracht.

Die Glaskapseln, in welchen sich der Magnet bewegt, sind in kurzen Messinghülsen mit Siegellack festgekittet, und die Messinghülsen werden in das Gehäuse eingeschraubt. Wenngleich diese Art der Einschliessung nicht luftdicht ist, so ist sie doch vollkommen genügend, um die Luft-Oscillationen wirksam abzuhalten.

Der Raum, in welchem der Magnetspiegel sich befindet, ist seitwärts durch den Messingrahmen, vorn durch ein eingekittetes Planglas, rückwärts durch ein gewöhnliches Glas eingeschlossen.

In dem Rohre *R*,*R* befindet sich oben der Suspensionshaken, bestehend aus einem Messingdrahte von $1^1/_2$ Zoll Länge, mit einem aufgeschraubten Kopfe *k* versehen, unten zu einem feinen Häkchen behufs der Befestigung des Bodens gebogen, und seitwärts durch die kleine Kopfschraube *p* festgeklemmt.

Zur weiteren Erläuterung findet man alle bisher beschriebenen Theile am Durchschnitte, Figur 2, dargestellt: *kq* ist der Suspensationshaken, von welchem der Faden herabgeht, *p* die Klemmschraube, die den Draht festhält, *c* das Planglas, *e'* das gewöhnliche Glas, zwischen welchen der Magnetspiegel hängt, *a* und *a'* die eingeschraubten Glaskapseln.

Den Magnet zeigt Figur 3 in grösserem Maassstabe. Er besteht aus drei durch kleine Messingplättchen in der Mitte getrennt gehaltenen Lamellen (Abschnitten von einer starken Uhrfeder), und trägt einen runden Spiegel von 8 Linien Durchmesser in ein feines Messingrähmchen einpolirt. Der über dem Spiegel befindliche dünne Messingcylinder *no*, an dem der Suspensionsfaden festgemacht ist, lässt sich leicht biegen, und vermöge dieser Biegung kann man bei Regulirung des Instrumentes die Neigung des Spiegels gegen die Verticalebene etwas ändern, ohne dass dadurch die Horizontalität der Nadel merklich geändert würde.

Bei allen drei Variations-Instrumenten sind die Gehäuse und Nadeln vollkommen gleich, und nur darin ist ein Unterschied vorhanden, dass, während die Declinationsnadel im magnetischen Meridiane steht,

die Intensitätsnadel durch einen Deflector *DD'* Figur 4, die Inclinationsnadel aber durch beiderseits aufgehängte weiche Eisenstäbe *EE*, *E'E'* Figur 5 vom Meridian abgelenkt gehalten wird.

Der Deflector der Intensität *DD'*, Figur 4, aus gradfaserigem (geschlachtem) Holze[1]) verfertigt und gefirnisst, trägt zwei compensirte Magnete *ns*, *n's'*[2]), die sich mittelst der Schraubenmuttern *h*, *h'* näher oder entfernter festschrauben lassen. Zwischen den Schraubenmuttern *h*, *h'* und dem Holze hatte Lamont ursprünglich kleine Messingplättchen als Unterlagen gebraucht, spätere Erfahrung zeigte aber, dass es zweckmässiger sei, eine Messingfeder einzulegen, damit die compensirten Magnete nicht durch starke Compression, sondern durch Federdruck festgehalten werden. Der Deflector selbst lässt sich auf dem Magnetgestelle verschieben, und es muss durch Versuche die Lage ermittelt werden, wo der Ablenkungswinkel ein Minimum ist, mithin die beiden Magnete gleich starke Wirkung auf die freie Nadel ausüben.

Die Eisenstäbe *EE*, *E'E'* des Inclinationsinstrumentes Figur 5 bestehen aus 3 zusammengeschraubten, aber durch Messingplättchen von einander getrennten Schienen. Die Suspension geschieht mittelst feiner Messing- oder Kupferdrähte, welche über die beweglichen Holzklötzchen *A*, *B* gehen und deren Enden in *a*, *b*, *c*, *d* festgemacht sind. Die Höhe muss so gewählt werden, dass das untere Ende des höheren Stabes ungefähr einen Zoll unter, das obere Ende des unteren Stabes ungefähr einen Zoll über der Nadel zu stehen kommt.[3]) Die beiden Klötzchen ruhen auf einer flachen hölzernen Schiene *CD*, die nach ihrer Lage verschiebbar ist, damit, wie bei dem Deflector der Intensität die Lage gesucht werden kann, wo die Ablenkung ein Minimum wird. Die hölzerne Schiene *CD* wird von zwei Messingröhren

---

1) Lamont hat anstatt des Holzes auch Glasstreifen gebraucht, bei denen ein Verziehen nicht zu fürchten ist, dagegen die Ausdehnung in Rechnung gebracht werden muss; er glaubt übrigens, dass Holz, wenn es sorgfältig ausgewählt und gefirnisst wird, unbedenklich zu den Deflectoren benützt werden kann.

2) Näheres über compensirte Magnete und Deflectoren findet man in folgenden Schriften: „Resultate des magnet. Observatoriums in München 1843, 44, 45" (Abhandlung der II Classe der k. Acad. der Wissenschaften. Bd. V, Abth. I, p 5). „Lamont Handbuch des Erdmagnetismus p. 132." „Magnet. Ortsbestimmungen im Königreich Bayern. Th. II, p. 7." „Lamont Handbuch des Magnetismus, p. 401."

3) Eigentlich sollte die Höhe gewählt werden, in welcher das von dem Eisenstabe hervorgebrachte Drehungsmoment ein Maximum wird. Man vergleiche „Handbuch des Erdmagnetismus" p. 34.

*P*, *Q* getragen, welche an dem Steinpostament festgemacht und oben mit Schrauben versehen sind, damit die weichen Eisenstäbe höher oder tiefer gestellt werden können. Wie die Röhren *P*, *Q* mittelst der durch das Postament gehenden Schraube *gg* befestigt werden, zeigt Figur 6; da übrigens diese Befestigung nur geringe Stabilität gewährt, so ist es rathsam, von *F* nach *G* Figur 5 einen Steg oder eine Schiene von Messing oder Holz hinübergehen zu lassen.

Die Steinpostamente der Declination und Intensität können von beliebigem Querschnitte sein; die Inclination dagegen erfordert ein Postament, dessen Breite nicht grösser sei als nöthig ist, damit das Gehäuse gerade Platz finde, weil sonst die weichen Eisenstäbe nicht nahe genug gebracht werden können.

Will man die Nadel in das Gehäuse bringen oder aus demselben herausnehmen, so müssen vor Allem die Glaskapseln abgeschraubt werden. Da, wo die Glaskapseln eingeschraubt sind, ist das Gehäuse zerlegbar in der Weise, dass der untere Deckel, welcher durch die Schrauben *e*, *e'* Figur 1 festgehalten wird, und welchen man in Figur 1a für sich allein dargestellt sieht, weggenommen werden kann. In Figur 10 sieht man das Gehäuse, ohne den unteren Deckel, umgestürzt. Hält man mit der einen Hand das Gehäuse in dieser Stellung, mit der andern aber vertical darüber den Magnet mit Faden und Suspensionshaken (ohne Knopf), wie dies Figur 10 zeigt, und lässt man den Magnet langsam herab, so geht der Suspensionshaken in das Rohr hinein und kommt unten bei *k* heraus. Man braucht alsdann blos die Klemmschraube über *p* anzuziehen, den Deckel fest zu machen, die Glaskapseln einzusetzen und den Knopf des Suspensionshakens aufzuschrauben, so ist das Instrument zur Aufstellung hergerichtet. In so ferne es nur um Versuche zu thun ist, kann in dieser Weise auch die Aufstellung vorgenommen werden. Handelt es sich aber darum, das Instrument zu wirklichen Beobachtungen zu verwenden, so muss erst die Torsion aufgehoben werden. Zu diesem Zwecke muss man zwei horizontale Stützen an der Wand festmachen, auf welche das Gehäuse in umgestürzter Lage aufgesetzt werden kann, so dass die oberen Enden der drei Fussschrauben auf die Stützen zu stehen kommen, wie in Figur 11 zu sehen ist. Wenn man dann, während das Gehäuse in dieser Lage sich befindet, die Klemmschraube *p* öffnet und den massiven Deckel *Q* losschraubt, so dient dieser als Torsionsgewicht und man braucht blos durch die Fussschrauben zu bewirken, dass der

Faden in die Mitte des Rohres kommt, so wird der Deckel $Q$ frei und es fängt eine Ausgleichung der Torsion des Fadens an, die wenigstens mehrere Stunden in Anspruch nimmt. Tritt vollständige Ruhe ein, so schraubt man mit der einen Hand den Deckel $Q$ wieder auf, während man mit der andern Hand den Knopf des Suspensionsfadens festhält, damit eine Drehung nicht eintreten kann. Am Ende wird die Klemmschraube $p$ angezogen und das Instrument aufgestellt.

Die Zusammenstellung der Fernrohre, Scalen und Beleuchtungsspiegel zeigt Figur 7. Als Träger dient eine in einem Steinpostament feststehende starke Messingsäule, und an der Säule sind drei starke Fernrohrhalter festgemacht, deren Form aus Figur 8 zu ersehen ist und die höher oder tiefer gestellt und gedreht werden können, zuletzt aber, wenn die richtige Lage gefunden ist, durch die Klemmschrauben $c$, $c'$ festgemacht werden. Das Fernrohr ist an den Halter seitwärts angeschraubt; am Vordertheile befindet sich das Messingstück, welches die Scala hält, und in der Mitte steht der Beleuchtungsspiegel $M, M$ von dem Cylinder $pp$ getragen und festgehalten durch die Klemmschraube $q$. Vom Anfang ist es am zweckmässigsten, den Fernrohrhalter so hoch zu stellen, dass er sehr nahe in derselben Horizontalebene wie der Magnetspiegel sich befindet, alsdann richtet man das Fernrohr (woran das Ocularende etwas aufwärts oder abwärts bewegt werden kann) gegen die Mitte des Spiegels, was ganz genau sich bewerkstelligen lässt, wenn man das Ocularrohr so weit heraus zieht, dass der Spiegel deutlich gesehen wird; hierauf dreht man den Beleuchtungsspiegel und stellt ihn höher oder tiefer, bis er das von einem Fenster kommende Licht [1]) gegen den Magnetspiegel reflectirt; endlich wird die Scala durch Bewegung des Messingstückes, von welchem sie gehalten wird, in gleiche Höhe mit dem Beleuchtungsspiegel gebracht. Erscheint das Bild der Scala nicht im Fernrohre, so braucht man nur das Auge seitwärts vom Fernrohre höher oder tiefer zu halten, um zu erkennen, nach welcher Richtung das Bild der

1) Will man ganz gute Beleuchtung haben, so muss man ein Fenster im Dache vertical über dem Steinpostament der Fernröhre anbringen. Weniger Licht erhält man, wenn man vertical über dem Steinpostament einen Spiegel befestigt, der das Licht eines Seitenfensters herabreflectirt. Man kann zwar auch das von einem Seitenfenster kommende Licht unmittelbar durch die Beleuchtungsspiegel gegen den Magnetspiegel reflectiren, allein diese Einrichtung hat grosse Uebelstände, insbesondere wenn das Fenster nicht sehr hoch ist.

Scala durch den Magnetspiegel reflectirt wird, und hiernach muss entweder die Lage des Magnetgehäuses oder die Höhe des Fernrohrhalters gerichtet werden; auch lässt sich durch Aenderung des Magnetspiegels (Drehung des Magnets und Biegung des über dem Spiegel befindlichen Cylinders *no*, Figur 3) der Zweck erreichen, jedoch ist es nicht rathsam, wenn das Instrument mit der erforderlichen Sorgfalt verfertigt ist, dass man zu diesem Mittel seine Zuflucht nehme. Man könnte für jedes Fernrohr ein eigenes Steinpostament mit einer eigenen Messingsäule, oder man könnte auf einem Steinpostament eine grosse Messingplatte mit drei Säulen einrichten, und auf solche Weise die Aufstellung der Instrumente sehr erleichtern, jedoch hat Lamont für den eigenen Gebrauch (wenn auch die Rectification mehr Mühe erfordert) stets wegen der grossen Bequemlichkeit der Ablesungen vorgezogen, die drei Fernrohre auf derselben Säule anzubringen, wie in Figur 7 dargestellt ist. Durch den Fuss der Säule geht ein (auf eine feste Mire zu richtendes) Versicherungsfernrohr, um etwa vorkommende Aenderungen in der Aufstellung zu erkennen[1]), und die Befestigung auf dem Steinpostament wird in der Weise bewerkstelligt, dass eine lange Schraube vom Fuss der Säule in das nach Figur 9 mit einer viereckigen Oeffnung versehene Postament hineingeht und durch die Mutter *q* gehalten wird.

Es ist zweckmässig, die Nadeln genau senkrecht auf den Spiegel zu richten und dies kann der Verfertiger leicht zu Stande bringen. Bei der Aufstellung ist es aber dann nothwendig, dass das Postament der Fernrohre und das Postament des Declinations-Instrumentes genau in der Richtung des magnetischen Meridians gegen einander zu stehen kommen. Das Postament für die Intensität wird am zweckmässigsten rechts, das Postament der Inclination links an der Declination gestellt, und zwar so, dass (in Mittel-Europa) die Intensitätsnadel einen Winkel von $50^0 - 60^0$, die Inclinationsnadel einen Winkel von $20^0 - 30^0$ mit dem magnetischen Meridian macht. Diese Lage der Postamente zeigt der Grundplan Figur 12. Die Entfernung des Fernrohres vom Magnet-

---

1) Im Münchener Observatorium ist nur versuchsweise und auf kurze Zeit das Versicherungsfernrohr benützt worden, da sich gezeigt hat, dass die Aenderungen der Fernrohre, die auf massiven Steinunterlagen festgemacht sind, zu denjenigen Fehlerquellen gehören, welche am wenigsten zu befürchten sind. Als einzige vollständige und wirksame Controlle hat die Erfahrung bisher die Anwendung zweier Instrumenten-Systeme und die öftere Vornahme absoluter Messungen erwiesen.

spiegel bei den drei Instrumenten wird gleich gross gemacht und die Scalen werden so getheilt, dass jeder Scalentheil sehr nahe einer Minute im Bogen entspricht.

Wenn der Werth der Scalatheile genau bestimmt werden soll, so wendet man dazu schwache Deflectoren an, bestehend aus einer dünnen, ungefähr 4—5 Fuss langen Holzschiene, die auf das Magnetgehäuse aufgesetzt werden kann und mit zwei kleinen aber gleich starken Magneten versehen ist. Figur 3 stellt einen Deflector vor, wie er zur Bestimmung der Declinationsscala angewendet wird. Die beiden Magnete *ns*, *n's'* dürfen höchstens eine Ablenkung von 30 Scalatheilen hervorbringen, und wenn die Ablenkung zuerst an dem Declinations-Instrumente, dann an einem magnetischen Theodolithen gemessen wird, so ergiebt sich daraus sogleich der wahre Bogenwerth der Scalatheile mit Inbegriff von Torsion und Local-Einfluss. Es ist nicht rathsam, denselben Deflector bei dem Intensitäts-Instrumente, welches bereits durch einen starken in gleicher Richtung gelegenen Deflector abgelenkt wird, zu gebrauchen wegen der gegenseitigen Induction, die zwischen den Magneten der beiden Deflectoren eintreten würde, und deshalb hat Lamont zur Bestimmung des absoluten Werthes der Intensitätsscala einen Deflector von der Form Figur 14 angewendet. Der Deflector wird auf das Gehäuse so aufgesetzt, dass er parallel mit der Nadel zu liegen kommt, und dabei geht das Licht von der Scala zu dem Magnetspiegel und von da zurück zu dem Ablesungsfernrohre durch die offenen Bügel, auf welchen die Magnete *ns*, *n's'* aufgeschraubt sind. Die Bestimmung des absoluten Werthes der Scalatheile erfordert zwei Ablenkungen, wovon die eine am Intensitäts-Instrumente, die andere am Declinations-Instrumente vorgenommen wird.

Weit umständlicher als bei der Declination und Intensität erweist sich die Bestimmung des Werthes der Scalatheile bei der Inclination, denn hier müssen nicht blos Ablenkungen mittelst des Deflectors, Figur 14, gerade so vorgenommen werden, wie bei der Intensität, sondern man muss ausserdem vertical über der Inclinationsnadel einen um seine Mitte drehbaren Magnet anbringen und die Ablenkung, welche er sowohl vertical als horizontal und senkrecht gegen die Richtung der Inclinationsnadel gestellt hervorbringt, zweimal messen, einmal während die Nadel wie gewöhnlich durch die Eisenstäbe, dann, während

sie durch einen Magnet von gleichem Drehungsmoment wie die Eisenstäbe aus dem Meridian abgelenkt gehalten wird[1]).

Alle hier erwähnten Ablenkungen sind so vorzunehmen, dass die ablenkende Kraft zuerst eine Vermehrung, dann eine Verminderung des Standes der Nadel hervorbringt, was durch Umlegung oder Umkehrung des Deflectors oder ablenkenden Magnets, d. h. durch eine horizontale oder verticale Drehung von 180° bewerkstelligt wird.

Wenn magnetische Beobachtungen angestellt werden, so wäre es eigentlich nothwendig, die drei Instrumente gleichzeitig abzulesen; da aber diese Bedingung nicht streng erfüllt werden kann, so begnügt man sich damit, die Ablesungen so schnell als möglich nach einander vorzunehmen. Zu einer Ablesung reichen wenige Secunden hin, weil die Nadeln, ausserordentliche Fälle ausgenommen, vollkommen ruhig zu sein pflegen, und die allmälig eintretenden Aenderungen des Erdmagnetismus ohne Oscillation erfolgen. Aus diesem Grunde sind kupferne Dämpfer, wie sie in früherer Zeit bisweilen gebraucht wurden, unnöthig, und dies muss als ein wesentlicher Vortheil betrachtet werden, da sich leicht nachweisen lässt, dass Dämpfer auf den Stand der Nadeln und auf die Grösse der täglichen Bewegung einen nicht unbeträchtlichen Einfluss ausüben[2]).

Da die Bewegung der Intensitäts- und Inclinationsnadeln zugleich von den Aenderungen des magnetischen Meridians, d. h. von den Bewegungen der Declinationsnadel abhängen, so müssen letztere abgezogen werden, wenn man die Variationen der Intensität und Inclination erhalten will.

Im Vorhergehenden ist allgemein angedeutet worden, wie die Werthe der Scalatheile zu bestimmen sind; die Formeln und näheren Vorschriften zur Berechnung finden sich in Poggend. Ann. CXII. p. 606 so wie im IV. Supplementbande der Annalen der Münchener Sternwarte p. 121 ff.

Zu bemerken wäre noch, dass die Variationsinstrumente sammt Ablesefernrohren in der physikalischen Anstalt des Herausgebers um den Preis von fl. 250 verfertigt werden.

---

1) Lamont Handbuch des Erdmagnetismus p. 216 und 264. Poggendorff's Annalen CIX p. 79.

2) Beschreibung der an der Münchener Sternwarte zu den Beobachtungen verwendeten neuen Instrumente und Apparate. Abhdl. der II. Classe der k. Acad. der Wissensch. Bd. VI p. 404.

## Die galvanische Batterie von Léclanché.

Das Léclanché'sche Element, welches in Frankreich mit grossem Beifalle aufgenommen wurde, ist ein Zinkkohlenelement. Die innerhalb der Thonzelle befindliche Kohlenplatte steht in einem Brei, der aus in Wasser angemachtem Pulver von Manganhyperoxyd besteht. Ausserhalb der Thonzelle, im Glasgefässe, befindet sich ein starker Zinkstift in einer Lösung von Salmiak in Wasser. Das Element soll sich durch seine grosse Constanz auszeichnen und namentlich für telegraphische Zwecke eignen. Es empfiehlt sich besonders für Haustelegraphen, da es in jedem Zimmer aufgestellt werden kann, ohne die geringste Belästigung zu verursachen. Es soll für letzteren Zweck 10—12 Monate wirken, ohne dass man etwas anderes zu thun hat, als ein wenig Wasser von Zeit zu Zeit nachzufüllen. Der Herausgeber hat selbst seit ein paar Monaten zwei solcher Elemente an einem galvanischen Glockenzuge in Thätigkeit und kann sich bisher nur sehr lobend darüber aussprechen.

(Fortsetzung folgt im nächsten Hefte.)

# Ueber die bisher in Anwendung gebrachten galvanometrischen Einrichtungen.

Von

**Ph. Carl.**

Fortsetzung von Seite 159.

(Hiezu Tafel XVIII und XIX.)

## Die Spiegelgalvanometer.

39. Wir kommen nun zu einer Classe von galvanometrischen Instrumenten, mittelst welcher sich selbst sehr schwache Ströme und deren Intensitätsänderungen noch mit grosser Genauigkeit und Sicherheit messen lassen. Da bei diesen Instrumenten die in § 14 ff. beschriebene Spiegelablesung in Anwendung kommt, so werden dieselben zweckmässig zum Unterschiede von den bereits beschriebenen Instrumenten Spiegelgalvanometer genannt.

Man könnte die bisher construirten Spiegelgalvanometer in zwei Classen eintheilen:

a) in diejenigen, bei welchen die Ablesevorrichtung mit dem galvanometrischen Apparate zu einem Ganzen verbunden ist;

b) in solche, bei welchen diese beiden Theile zwei für sich gesonderte Instrumente bilden.

Wir wollen jedoch diese Eintheilung, da sie mit dem Wesen der Instrumente nicht zusammenhängt, fallen lassen und die verschiedenen Spiegelgalvanometer im Allgemeinen in der Reihenfolge ihrer historischen Aufeinanderfolge und Entwickelung beschreiben.

### 1. Das Weber'sche transportable Magnetometer als Spiegelgalvanometer.

40. Bald nachdem Gauss die Spiegelablesung auf die Instrumente, welche zur Untersuchung der Verhältnisse des Erdmagnetismus dienen,



angewendet hatte, construirte Weber ein transportables Magnetometer[1]) mit Spiegelablesung und richtete dasselbe der Art ein, dass es zugleich als Spiegelgalvanometer gebraucht werden kann. Das Instrument ist nach der constructiven Einrichtung, die es vom Mechanicus Leyser in Leipzig erhalten hat, auf Tafel XVIII Figur 1 dargestellt.

Der cylinderische Magnetstab, welcher oben den Spiegel *m* trägt, ist von einem kupfernen (dämpfenden) Multiplicatorrahmen umgeben, auf welchem die Drahtwindungen sich befinden, die aus drei gesonderten Drähten bestehen, von denen jeder in mehreren Lagen aufgewunden ist. Die Enden dieser Drähte führen zu den in der Figur sichtbaren Klemmschrauben und es können die Drähte je nach Bedürfniss auf verschiedene Weise combinirt werden.

Der Magnet und der damit verbundene Spiegel werden von einem Coconfaden getragen, der in dem Rohre *r*, *r* sich befindet und oben in der Weise eingehängt ist, wie dies Figur 2 in natürlicher Grösse zeigt. Um die Länge des Fadens corrigiren zu können, besteht das Rohr *r*, *r* aus zwei in einander verschiebbaren Rohren, von welchen das obere die in Figur 2 sichtbare drehbare Deckplatte trägt.

Das ganze Instrument ist auf eine mit drei Stellschrauben versehene Fussplatte befestigt.

## 2. Das Wiedemann'sche Spiegelgalvanometer.

41. Wiedemann hat für seine, in Gemeinschaft mit Franz ausgeführten Untersuchungen über Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle eine Spiegelbussole angewendet, welche durch Figur 3, Tafel XVIII dargestellt ist und von Wiedemann selbst in seinem Werke über Galvanismus[2]) folgendermassen beschrieben wurde.

In einer dicken Hülse von Kupfer *A* von 17$^{mm}$ Wandstärke und 21$^{mm}$ Länge hängt an einem Coconfaden ein dünner Stahlspiegel *SN* von 1$^{mm}$ Dicke und 19$^{mm}$ Durchmesser. Der Stahlspiegel ist so magnetisirt, dass seine magnetische Axe horizontal hängt. Auf die Hülse können beiderseits geschliffene Glasplatten aufgelegt werden, um dadurch einen Luftzug am Spiegel zu vermeiden. Auf dieselbe ist ferner ein Glasrohr aufgesetzt, welches oben eine kupferne Fassung trägt. Auf dieser dreht sich ein Metallknöpfchen, um welches das Ende des

1) Resultate des magnetischen Vereines 1838 pag. 68 ff.

2) Wiedemann die Lehre vom Galvanismus und Electromagnetismus. II. 1. pag. 198.

den Spiegel tragenden Coconfadens geschlungen ist. Durch einen seitlichen Schlitz der Fassung ist eine Elfenbeinplatte geschoben, die innerhalb einen kleinen Einschnitt hat, durch welchen der Coconfaden hinabhängt. Durch Verschiebung der Platte kann der Spiegel in der Hülse *A* centrirt werden. Die Kupferhülse mit dem Spiegel steht in der Mitte eines Schlittens, der sich durch drei Stellschrauben horizontal stellen lässt. Auf demselben lassen sich zwei Drahtspiralen *B*, *B* hin und her schieben. Dieselben haben einen solchen inneren Durchmesser, dass sie gerade auf die Hülse *A* hinauf passen. Jede Spirale besteht aus zwei $60^m$ langen, $1^{mm}$ dicken übersponnenen Kupferdrähten, deren Enden mit besonderen Klemmschrauben verbunden sind.

Der Apparat wird so gestellt, dass die Axe der Spiralen und der Kupferhülse senkrecht gegen den magnetischen Meridian gerichtet ist, und die beim Hindurchleiten des Stromes durch die eine oder andere der Drahtwindungen erfolgende Ablenkung des Spiegels durch eine vorgestellte Scala mit Fernrohr beobachtet werden kann.

Je nach der Intensität der zu messenden Ströme kann man die Spiralen näher oder weiter von der Hülse mit dem Stahlspiegel entfernen. Auch kann man, wenn das Instrument sehr empfindlich sein soll, unter demselben in der Richtung des magnetischen Meridianes einen horizontalen Magnetstab hinlegen, so dass sein Nordpol nach Süden, sein Südpol nach Norden gerichtet ist; oder auch nur in derselben Richtung von der Seite her dem Nordpol des Spiegels den Südpol eines Magnetstabes nähern. Es wird hierbei die Richtkraft der Erde durch die Gegenwirkung des Magnets vermindert und der Ausschlag, welchen der Spiegel beim Hindurchleiten des Stromes durch die Spiralen zeigt, vergrössert. Man kann leicht aus der Schwingungsdauer des Stahlspiegels vor und nach der Annäherung des Magnetstabes die jedesmal in der Linie des magnetischen Meridianes auf ihn wirkende Richtkraft bestimmen und so in allen Fällen die aus den Ablenkungen des Spiegels berechneten Werthe der Stromintensitäten auf einander reduciren.

### 3. Die Lamont'schen Spiegelgalvanometer.

42. Professor von Lamont hat für seine Untersuchungen verschiedene Spiegelgalvanometer construirt, welche in drei verschiedene Classen getheilt werden können, nämlich:

*a*) Galvanometer für relative Messungen,
*b*) Galvanometer für absolute Messungen und
*c*) Galvanometer für Messungen des Erdstromes.

Diese Instrumente haben gegen die bisher betrachteten Spiegelgalvanometer die Eigenthümlichkeit, dass bei ihnen der galvanometrische Apparat mit der Ablese- (Mess-) Vorrichtung (§ 17) zu einem unveränderlichen Ganzen vereinfacht ist; wir wollen sie in der angeführten Reihenfolge näher beschreiben.

### *a*) Das Lamont'sche Spiegelgalvanometer für relative Messungen.

43. Das Galvanometer für relative Messungen ist durch Figur 4, Tafel XVIII dargestellt. Der Multiplicatorrahmen *M* ist auf ein horizontales Bodenbrett aufgesetzt. In dem Rahmen befindet sich zwischen den Drahtwindungen eine Doppelnadel, welche oben den Spiegel *s* trägt, der an einem Coconfaden in dem Rohre *C* aufgehängt ist. Das Rohr *C* sitzt auf einem Glasgehäuse, welches über den ganzen Multiplicatorrahmen gestellt wird und in das an seiner vorderen, dem Spiegel gegenüber liegenden Seite ein Planparallelglas eingesetzt ist. Diesem Planglase gegenüber steht auf dem gleichen Bodenbrette das Fernrohr *F*, über welchem sich die Scala *AB* und dahinter der Beleuchtungsspiegel *S* befindet (Confr. § 17).

Die Zahl der Drahtwindungen, so wie die Stärke des Drahtes, richtet sich nach dem jeweiligen Zwecke, zu welchem das Galvanometer verwendet werden soll. (Vergl. § 19 und 20.)

### *b*) Das Lamont'sche Galvanometer für absolute Messungen.

44. Fast gleichzeitig mit Wiedemann hat Lamont ein Spiegelgalvanometer zur absoluten Messung stärkerer und schwächerer Ströme construirt, bei welchem ebenfalls die Verschiebung der Drahtrollen benützt wird; er beschreibt es selbst folgendermaassen[1]):

In dem Gehäuse *m* (Figur 5, Tafel XVIII) hängt eine kleine Nadel von ungefähr 6 Linien Länge. Die Nadel trägt einen ganz leichten runden Spiegel, der in der Zeichnung im oberen Theile des Gehäuses zu sehen ist, und hängt an einem sehr feinen Coconfaden. Mittelst

1) Lamont Handbuch des Magnetismus pag. 94.

des kleinen Fernrohres $F$ sieht man im Magnetspiegel das Bild der Glasscala $ab$, wobei die Beleuchtung der Scala durch den Spiegel $S$ gegeben wird. An den beiden Röhren $AB$, $A'B'$, welche senkrecht auf dem magnetischen Meridiane stehen, und deren Axen in einer geraden, durch die Mitte der Nadel gezogenen Linie liegen, lassen sich die beiden gleich grossen Messingscheiben $C$, $C$ hin und her schieben; eine Theilung befindet sich auf den Röhren, wonach man die Entfernung der Scheiben von der Nadel ablesen kann.

Um die Peripherie der Scheibe $C$ geht ein isolirter Draht, dessen beide Enden $h$, $i$ unten hinaustreten und mit zwei durch Papier und Siegellack von einander isolirten Messingschienen $p\ q$ in Berührung stehen, so zwar, dass beim Hin- und Herschieben der Rolle die Berührung immer mit hinreichend starkem und gleichem Drucke stattfindet, was durch eine unten angebrachte Messingfeder bewirkt wird. Ganz gleiche Einrichtungen sind bei der Scheibe $C'$ getroffen. Von den Enden der Schienen $p\ q$ gehen Leitungsdrähte herab bis $f$ und $f'$ und einwärts bis $g$, und zwar ist die Verbindung dieser Leitungsdrähte in der Weise hergestellt, dass der Strom bei $d$ hinein kommt, zuerst zu der Scheibe $C$ geführt wird, von da über $g$ zu der Scheibe $C'$ gelangt und über $f'$, $k$, $c$ wieder zurückkehrt; hierbei werden die Scheiben $C$ und $C'$ in entgegengesetzter Richtung umkreist, so dass beide Kreisströme mit der Summe ihrer Momente die Nadel nach derselben Richtung aus dem magnetischen Meridiane abzulenken suchen, während der horizontale Erdmagnetismus dieselbe in den Meridian zurückzieht.

Bezeichnet man mit $r'$, $r''$ den Halbmesser der Kreisströme $C$ und $C'$, mit $e'$ und $e''$ ihre Entfernungen von der Nadel, mit $\lambda$ die halbe Länge der Nadel, mit $\psi$ die durch den Strom erzeugte Ablenkung, mit $\varrho'^2$ und $\varrho''^2$ die Grössen $r'^2 + e'^2 + \lambda^2$ und $r''^2 + e''^3 + \lambda^2$, so hat man nach § 7 und mit Berücksichtigung derselben Umstände, welche bereits in § 8 erwähnt worden sind

$$2\lambda\mu X \sin\psi = 2\lambda\mu\cos\psi \cdot \frac{2\pi g r'}{\varrho'^3}\left(r' - \frac{3}{2}\frac{r'\lambda^2}{\varrho'^2} + \ldots\right)$$
$$+ 2\lambda\mu \cdot \frac{2\pi g r''}{\varrho''^3}\cos\psi\left(r''^2 - \frac{3}{2}\cdot\frac{r''\lambda^2}{\varrho''^2} + \ldots\right)$$

Da bei der Construction des Galvanometers gesucht wird, $e'$ und $e''$, dann $r'$ und $r''$ gleich zu machen, so wird man $e' = e + \alpha$ und $e'' = e - \alpha$, dann $r' = r + \beta$ und $r' = r - \beta$ setzen können, wobei $\alpha$

und $\beta$ als sehr kleine Grössen zu betrachten sein werden. Es genügt demnach die erste Potenz von $\alpha$ und $\beta$ und diese nur in den Hauptgliedern zu berücksichtigen, und alsdann findet man (was leicht a priori als nothwendig nachgewiesen werden kann), dass $\alpha$ und $\beta$ ganz hinausfallen und nur übrig bleibt

$$X \operatorname{tg} \psi = 4 \pi g \frac{r^2}{\varrho^3} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{\varrho^2}\right)$$

wo $\varrho^2 = r^2 + c^2 + \lambda^2$ ist.

Hieraus ergiebt sich

$$g = \frac{X \operatorname{tg} \psi}{4 \pi r^2} (e^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{e^2 + r^2}\right)$$

Mittelst dieser Gleichung kann man den absoluten Werth von $g$ berechnen, sobald $e$ und $r$ in absolutem Maasse (also in Millimetern) angegeben sind. Hierin liegt aber die Schwierigkeit. Zwar lässt sich die Theilung auf den Röhren mit aller Genauigkeit ausführen, und auch der Index genau auf die Theilstriche der Röhren einstellen, allein ob der Index genau mit dem Kreisstrome correspondirt, d. h. ob nicht ein Collimationsfehler vorhanden ist, kann direct nicht ermittelt werden. Ebenso ist es nicht möglich, mit der Genauigkeit, die erforderlich wäre, den Halbmesser des Kreisstromes zu messen. Man muss deshalb in der obigen Gleichung $e + \delta e$ anstatt $e$ und $r + \delta r$ anstatt $r$ substituiren, wobei $\delta e$ und $\delta r$ die Correctionen bezeichnen, welche zu den durch Messung erhaltenen Näherungswerthen von $e$ und $r$ hinzu zu fügen sind; alsdann ergiebt sich, wenn die Gleichung logarithmisirt wird

$$\log g = \log C + \log h + \log \operatorname{tg} \psi + A \lambda^2 + p \delta e + 9 \delta r$$

wo

$$C = \frac{r X}{4 \pi} \text{ und } h = \left(1 + \frac{c^2}{r^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

gesetzt ist.

Was zunächst die Correction $\delta e$ betrifft, so kann sie ganz einfach dadurch ermittelt werden, dass man bei unverändertem Strome zuerst die eine, dann die andere Scheibe vom Rohre wegnimmt und umgekehrt wieder ansteckt. Die durch die Umkehrung sich ergebende Aenderung ist der doppelten Wirkung des Collimationsfehlers gleich und hieraus lässt sich $\delta e$ ableiten. Nach Substitution des Werthes von $\delta e$ bleibt nurmehr $\delta r$ zu bestimmen übrig, und dieses geschicht dadurch, dass man bei unveränderter Stromstärke die Scheiben auf

verschiedene Entfernungen einstellt und die Ablenkung $\varphi$ beobachtet. Auf solche Weise erhält man eben so viele Gleichungen als Entfernungen eingestellt wurden, und es lässt sich der Werth der unbekannten Grösse $\delta r$ daraus mittelst der Methode der kleinsten Quadrate ableiten.

Dem Obigen zufolge wird gefordert, dass man zur Bestimmung von $\delta e$ und $\delta r$ wiederholte Beobachtungen bei gleicher Stromstärke vornehme. Practisch wird dieser Bedingung dadurch genügt, dass man neben dem zu untersuchenden Galvanometer ein Hilfsgalvanometer aufstellt und gleichzeitig durch beide denselben Strom gehen lässt. Das Hilfsgalvanometer giebt die Aenderungen des Stromes an und somit wird es möglich, sämmtliche Beobachtungen des Hauptgalvanometers auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Da bei dem Galvanometer Spiegelablesung gebraucht wird, so lässt sich die in den obigen Ausdrücken vorkommende Tangente der Ablenkung sogleich nach § 15 berechnen durch die Gleichung

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{n}{2E},$$

wo $n$ die Ablesung der Scala, von der natürlichen Richtung der Nadel an gerechnet, und $E$ die Entfernung der Scala vom Spiegel bedeuten. Die Bestimmung der natürlichen Richtung der Nadel wird gewöhnlich überflüssig gemacht durch Commutation der Stromrichtung, wobei die Nadel nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt und mithin der Betrag der doppelten Ablenkung unabhängig vom Nullpuncte erhalten wird.

Behufs der Rechnung ist es nöthig, sich eine Tabelle zu entwerfen, die den Werth eines Scalentheiles in absolutem Maasse für die verschiedenen Entfernungen der Scheiben angiebt.

Da die Scala Ablenkungen bis auf 50 Theilstriche zu beobachten gestattet, so kann man Ströme von der absoluten Stärke 0,2 bis zur absoluten Stärke 150 beobachten.

45. Wenn man noch schwächere Ströme nach absolutem Maasse bestimmen will, so kann man anstatt der einfachen Kreisströme Drahtrollen mit mehreren Windungen nehmen. Lamont hat ein solches Galvanometer für die Bestimmung der Längendifferenz zwischen den Sternwarten zu Bogenhausen (München) und Wien oonstruirt, welches in Figur 6a Tafel XVIII auf das horizontale Bodenbrett projicirt dargestellt ist und wovon Figur 6 einen durch $EF$ gelegten Verticalschnitt

zeigt[1]). Die beiden Figuren sind nach dem Vorhergehenden leicht verständlich und es ist nur hinzuzufügen, dass jede der Drahtrollen aus 40 Windungen von etwa $^3/_4$ Linien dickem Kupferdrahte besteht. Tritt nun bei $l_1$ der Strom ein, so geht er von der einen der Doppelschienen $EG$ zur Drahtrolle $W_1$, gelangt, nachdem er diese durchlaufen hat, zur andern Schiene $EG$ und von da zum Drahte $l_2$; von diesem geht er nach $l_3$ und von hier in ähnlicher Weise durch die Rolle $W_2$ und zum Drahte $l_4$ und nun zum Stromerzeuger zurück.

### c) Der Lamont'sche Galvanometer für Messungen des Erdstromes.

46. **Lamont** hat für seine in den Jahren 1860—62 ausgeführten Untersuchungen über den Erdstrom ein eigenes Spiegelgalvanometer construirt[2]), welches er selbst folgendermaassen beschreibt[3]):

Um die Construction des Galvanometers zu erklären, wird es vor Allem nöthig sein, die Form der Nadel anzugeben. Sie ist in Figur 7 dargestellt und besteht aus einer unteren Nadel, die sich innerhalb der Galvanometerwindungen befindet und aus zwei Lamellen zusammengesetzt ist, dann aus einer oberen Nadel (nach Umständen einfach oder doppelt), die den Zweck hat, die Directionskraft zu schwächen, und bei welcher die Richtung der Pole jener der unteren Nadel entgegengesetzt ist (Cfr. § 22). Ueber der oberen Nadel ist ein kleiner runder Spiegel von 6 Linien Durchmesser angebracht, dessen Fassung möglichst leicht gearbeitet ist. Die Suspension geschieht mittelst eines feinen Coconfadens.

Eine perspectivische Ansicht des Galvanometers, wenn die beiden Drahtrollen herausgezogen sind, giebt Figur 8.

Nach Entfernung der Drahtrollen zeigt sich hier die untere Nadel vollständig; die obere befindet sich in einem Gehäuse, welches an den vier Seiten mit eingekitteten Glasstreifen verschlossen ist. Ueber dem Gehäuse der oberen Nadel ist für den Spiegel ein kleines Gehäuse angebracht, vorn mit einem viereckigen Planglase von 8 Linien Quadrat,

---

1) Kuhn. Angewandte Electricitätslehre p. 1269.

2) Lamont. Der Erdstrom und der Zusammenhang desselben mit dem Magnetismus der Erde. 1862. pag. 26.

3) Der Verfasser glaubt, dass es im Sinne der monographischen Zusammenstellungen des Repertoriums gelegen ist, die Quellen möglichst häufig selbstredend einzuführen.

rückwärts mit einem gleich grossen Stück von gewöhnlichem Glase verschlossen; darüber steht endlich das Messing- oder Glasrohr für den Suspensionsfaden.

Die herausgezogenen Drahtrollen sind seitwärts dargestellt; sie haben genau die Grösse, dass sie das messingene Viereck, welches die untere Nadel umgiebt, ausfüllen, und wenn sie hineingeschoben werden, so halten sie die Luft von der Nadel ab und lassen dieser zugleich den nöthigen Raum für ihre freie Bewegung. Der Draht ist auf einem oval zusammengedrückten Messingrohre aufgewunden, zwischen zwei Platten von Messing, einer inneren und einer äusseren, welche die Windungen seitwärts zusammenhalten. In der inneren Platte einer jeden Rolle ist das Ende des Drahtes festgekeilt und somit metallisch verbunden, durch die äussere Platte geht dagegen das andere Ende isolirt heraus. Die beiden isolirt herausgehenden Enden sind mit der Leitung verbunden, und da die inneren Platten aneinander und an die umgebenden Messingwände anliegen, so geht der Strom sicher von einer Rolle auf die andere über.

An dem messingenen Viereck, welches die untere Nadel umgiebt, ist unten eine hölzerne Querschiene angeschraubt, auf welche beiderseits kleine Magnete (eigentlich wären hiezu compensirte Magnete erforderlich) hingelegt werden, um die Nadel, wenn sie durch den Strom der Leitung zu weit abgelenkt wird, in den Meridian zurück zu führen.

Fernrohr, Scala und Beleuchtungsspiegel sind wie bei im vorigen Paragraphen beschriebenen Galvanometer angebracht.

Der grösseren Deutlichkeit wegen ist noch in Figur 9 der im magnetischen Meridiane gelegene Durchschnitt des Galvanometers dargestellt. Darin sieht man die untere und obere Nadel (letztere ebenfalls hier als doppelt dargestellt), den Durchschnitt des Magnetspiegels, den Suspensionsfaden und die Vorrichtung zur Befestigung desselben. Auch die innere Platte der einen Drahtrolle ist sichtbar.

Was die Aufstellung des Galvanometers betrifft, so hält es Lamont für das bequemste, dasselbe an eine steinerne Säule anzuschrauben, zu welchem Zwecke eine kleine Messing-Büchse in die Säule eingekittet ist[1]).

1) Vielleicht wird die geringe Entfernung des Fernrohres von der Nadel Bedenken erregen, da es noch manche Beobachter giebt, welche die Vorstellung haben, als seien die ursprünglich im Göttinger Observatorium von Gauss getroffenen

Bei Galvanometern von der beschriebenen Construction, wie bei empfindlichen Galvanometern überhaupt, kann man den absoluten Werth eines Theilstriches, d. h. den absoluten Werth des Stromes, der die Nadel um einen Theilstrich ablenkt, nicht aus den Dimensionen und der Anzahl der Windungen ableiten, sondern es muss dies durch Vergleichung mit einem absoluten Galvanometer geschehen, wie ein solches im Vorhergehenden beschrieben wurde.

### 4. Das Meyerstein'sche Galvanometer.

47. Inspector Meyerstein in Göttingen hat im Jahre 1861 eine neue Construction eines Spiegelgalvanometers bekannt gemacht[1]) und dasselbe Electrogalvanometer genannt, da es sowohl zur Messung der Spannungs-Electricität, als auch zur Messung der schwächsten galvanischen Ströme dient. Wir wollen auch für dieses Instrument wieder die vom Constructeur selbst gegebene Beschreibung folgen lassen:

In den Figuren 10 und 11 (Tafel XIX) stellt *AA* eine mit drei Fussschrauben versehene Holzplatte dar, in welche, Figur 11 von oben betrachtet, zwei flache Streifen von Messing *a*, *a* eingelassen und zum Tragen eines kreisförmigen oder elliptischen Multiplicators *M* bestimmt sind. An den gegenüberliegenden Seitenwänden des Multiplicators, zwischen welchen der Draht gewickelt ist, sind zwei Metallzapfen *z z* (isolirt von den Seitenwänden) befestigt und mit dem einen Zapfen

---

Einrichtungen zur Erzielung genauer Resultate unbedingt nothwendig, und die es als einen wesentlichen Fehler ansehen würden, wenn die Ablesungsfernrohre nicht wenigstens 12 bis 15 Fuss von den Magneten entfernt wären. Solche Ansichten können nicht als begründet anerkannt werden. Die vielfachen gegenseitig uns vorliegenden Versuche und Erfahrungen beweisen vollständig, dass weder der menschliche Körper an und für sich, noch die durch die Nähe desselben erzeugte Luftbewegung und Wärme auf gehörig eingeschlossene Nadeln einen wahrnehmbaren Einfluss hat; bei unzureichender Einschliessung aber lässt sich in der Ferne eben so wenig wie in der Nähe eine richtige Bestimmung erhalten.

Diesem zufolge kann die Entfernung jedesmal so gewählt werden, wie es die sonst vorgeschriebenen Bedingungen erfordern; bei Galvanometern reicht eine Entfernung von 2 bis 3 Fuss vollkommen aus. Dass man Schlüssel, Messer und sonstige Gegenstände von Eisen, in so fern sie die Richtung der Nadel ändern könnten, bei magnetischen Untersuchungen ablegen muss, versteht sich wohl von selbst; auch ist es nicht schwer zu erkennen, ob dieser Bedingung genügt sei, da das Vorhandensein magnetischer Einflüsse durch Schwingungen der Nadel, die bei jeder Bewegung des Beobachters entstehen, verrathen wird.

1) Poggendorff's Annalen CXIV pag. 133.

ist der Anfang, mit dem anderen das Ende des Multiplicatordrahtes metallisch verbunden. Mit diesen beiden Zapfen wird der Multiplicator in die beiden y-artig ausgearbeiteten Vorsprünge der beiden Streifen *a*, *a* gelegt, welche demnach die Fortsetzung des Multiplicatordrahtes bilden. Es geht hieraus hervor, dass man, je nach der Art der beabsichtigten Untersuchung (es sei zu physiologischen oder physikalischen Zwecken) mit Leichtigkeit Multiplicatoren mit verschieden feinem Drahte, mit mehr oder weniger Umwindungen einlegen kann. An dem einen Ende eines sehr leicht gearbeiteten Bügels *B* von Messing ist eine feine englische Nähnadel befestigt, auf welche der schwingende Magnet, Figur 12, mit der feinen Durchbohrung gesteckt wird. Nach Weber's Vorgange erhält dieser Magnet die Form eines Ringes; der unwirksamere Theil des Magnetes, nämlich die Mitte, ist bei der Ringform entfernt und man erhält auf diese Weise im Verhältniss zur Masse kräftigere Magnete. Ein solcher ringförmiger Magnet kann als zwei mit den gleichnamigen Polen auf einander gelegte Magnete betrachtet werden. Statt eines kreisförmigen Ringes kann auch ein elliptischer Ring bei entsprechender Form des Multiplicators gewählt werden, Figur 13. Die wirksamen Theile des Magnetes können dabei in grösserer Ausdehnung den Windungen möglichst nahe gebracht werden. Das andere Ende des Bügels trägt eine kleine Hülse, durch welche ein Zapfen, welcher sich an der Spiegelfassung *S* befindet, mittelst einer Schraubenmutter an den Bügel in jedem Azimuth festgestellt werden kann. An dem oberen Theile der Spiegelfassung ist ein kleines Schiffchen *s* festgeschraubt, welches zur Aufnahme einer Axe dient, die an einem, zur Aufhängung bestimmten Coconfaden befestigt ist. An dem an der Fussplatte befestigten Träger *T* ist eine Schraube angebracht, an welche das andere Ende des Coconfadens geknüpft ist und mittelst welcher man die Höhe des auf die Nadel des Bügels gesteckten Ringmagnetes so lange reguliren kann, bis derselbe in der Mitte des Multiplicators schwingt, ohne den Aufhängungspunct dadurch zu verrücken. Dieses ist dieselbe Vorrichtung, wie sie in den „Resultaten des magnetischen Vereins 1838" beschrieben ist.

48. Aus dem Bishergesagten erkennt man ein Unifilar-Magnetometer, welches mit einem Multiplicator versehen ist und an welchem man mit einem Fernrohre und Scala, in bekannter Weise, beobachten kann. Um nun dieses Instrument für die Messung schwacher electrischer oder galvanischer Ströme möglichst empfindlich zu machen,

legt man nach Weber oben auf das Gestell einen Magnet so auf, dass dessen Pole dieselbe Lage haben wie die des schwingenden Ringmagneten, also Nord über Nord. Dieser Magnet hat nun das Bestreben, den schwingenden Magnet um seine Aufhängungsaxe zu drehen, welchem die erdmagnetische Kraft entgegen wirkt; es wird also durch den aufgelegten Magnet die locale erdmagnetische Kraft, folglich auch die Directionskraft des schwingenden Magnets verkleinert. Die Stärke des aufzulegenden Magnets hängt ab:

1) Von der beabsichtigten Verkleinerung der Directionskraft;
2) von der Entfernung desselben von dem schwingenden Magnete;
3) von der Stärke des localen Erdmagnetismus.

Bei der Anwendung dieser Methode, eine Nadel astatisch zu machen und einen jeden Grad der Empfindlichkeit derselben herzustellen, dessen Kenntniss man sich durch die Beobachtung der Schwingungsdauer der Nadel verschafft, muss der Hilfsstab ziemlich kräftig sein. Befestigt man nun oben auf dem Gestelle einen verticalen Maassstab *m*, über welchen sich eine Hülse schiebt, die den Hilfsstab trägt, so wird man, indem der Hilfsstab der schwingenden Nadel genähert wird, die Schwingungsdauer derselben vergrössern; man kann also durch eine allmälige Verschiebung desselben einen jeden Grad der Empfindlichkeit erreichen. Da nun aber, wie schon gesagt, der Hilfsstab ziemlich kräftig sein muss, so bringt eine kleine Verschiebung schon eine erhebliche Veränderung der Schwingungsdauer hervor. Um diese kleine Verschiebung zu vermeiden, wurde der Hilfsstab auf $300^{mm}$ festgestellt und auf demselben Maassstabe noch ein zweiter Schieber angebracht, der einen ganz kleinen Magnet trägt, dessen Pole dieselbe Lage haben wie die des Stabes *I*. Mit einem so schwachen Magnete kann man mit Leichtigkeit eine jede Schwingungsdauer hervorbringen, ohne nöthig zu haben, in der Verschiebung so vorsichtig zu sein.

49. Zur Berichtigung des Instrumentes ist es nothwendig, den verticalen Maassstab um eine Axe drehen zu können, welche mit der Aufhängung der Nadel zusammenfällt; diese Drehung lässt sich mittelst zweier Schrauben auf das Feinste vornehmen, indem diese in entgegengesetzter Richtung auf einen Arm wirken, welcher mit der Axe verbunden ist, wodurch erreicht werden kann, dass die magnetischen Axen der Hilfsstäbe mit der der schwingenden Nadel zusammenfallen und demnach keine Ablenkung hervorbringen. Durch die Bewegung

der Schrauben werden beide Magnete gleichzeitig gedreht; allein eine ganz geringe Drehung des grossen Magnetes bringt schon eine erhebliche Ablenkung der schwingenden Nadel hervor. Um daher die Einstellung der Nadel möglichst scharf zu erhalten, lässt sich das Azimuth des kleinen Magnets unabhängig von der gemeinschaftlichen Drehung beider Magnete mittelst der einen Schraube *s* und der Feder *f* (Figur 14) ändern, wodurch der Zweck auf das Vollständigste erreicht werden kann. Die Aufhängung eines sich selbst überlassenen Magnets an einem Coconfaden kann aber wegen der leichten Beweglichkeit des Magnets sehr störend, ja für physiologische Versuche fast unbrauchbar werden, weil, wenn derselbe in Schwingungen versetzt ist, es sehr lange dauern wird, bis er ruhig genug ist, um daran beobachten zu können. Dieser Uebelstand wird aber durch den Dämpfer gehoben, und man hat die Wahl, die schwingende Nadel unmittelbar mit dem Dämpfer zu umgeben und den Multiplicatordraht auf denselben zu wickeln oder den Dämpfer über den, die Nadel eng umschliessenden Multiplicator zu schieben. Diese letztere Methode ist wohl in den meisten Fällen zu empfehlen, weil dabei die Drahtwindungen dem schwingenden Magnete am nächsten sind und die durch die grössere Entfernung des Dämpfers von der Nadel entstehende geringere Dämpfung sich durch eine etwas grössere Kupfermasse ersetzen lässt.

Man gewinnt bei dieser Einrichtung des Dämpfers den Vortheil, dass, wenn man mit Multiplicatorrollen von dickerem oder dünnerem Drahte, mit mehr oder weniger Drahtwindungen, experimentiren will, alsdann nur ein einziger Dämpfer erforderlich ist, nach welchem der äussere Umfang der Multiplicatorrollen bestimmt wird, um den Dämpfer überschieben zu können.

50. Zur richtigen Aufstellung des Instrumentes mag noch einer kleinen Vorrichtung Erwähnung geschehen.

Es sollen, wie sich von selbst versteht, die Multiplicator-Windungen in der Richtung des magnetischen Meridians liegen. Um dieses zu erreichen, entfernt man alle Magnete so wie auch den Multiplicator und Dämpfer von dem Instrumente und legt in die Zapfenlager, die zur Aufnahme des Multiplicators bestimmt sind, den Figur 14 abgebildeten Träger, welcher mit einer Stahlspitze zur Aufnahme einer gewöhnlichen Magnetnadel versehen ist. Senkrecht gegen die Zapfen dieser kleinen Vorrichtung ist eine Linie gezogen, auf welche man die Magnetnadel, durch Drehung des grossen Holzgestelles, zur Ein-

stellung bringt. Ist diese zur Genüge erfolgt, so entfernt man diese Vorrichtung und setzt das Instrument vollständig zusammen.

Schliesslich mag noch bemerkt werden, dass sowohl der Multiplicator als auch der Spiegel von einem Holzgehäuse umgeben ist, um gegen Luftzug zu schützen. Bei dem vorliegenden Instrumente besteht dasselbe in einem der Länge nach halbirten hohlen Cylinder von Holz, der oben geschlossen, nur mit einem Loch für den Coconfaden versehen ist. Die andere Hälfte dieses Cylinders hat, dem Spiegel gegenüber, eine Oeffnung, welche durch ein Planparallelglas verschlossen werden kann.

### 5. Die Einrichtung des Spiegelgalvanometers vom Verfasser.

51. Der Verfasser hat bereits im ersten Hefte dieses Bandes des Repertoriums (pag. 15) eine zweckmässige Einrichtung des Spiegelgalvanometers bekannt gemacht, welche eine Verbindung des Wiedemann'schen Instrumentes mit der Lamont'schen Ablesevorrichtung bildet und welche ausserdem noch den Vortheil bietet, dass der galvanometrische Apparat leicht und sicher in den magnetischen Meridian eingestellt werden kann. Bezüglich des Details der Construction muss ich auf die oben citirte Mittheilung und die Figur 1 auf Tafel V verweisen; ich bemerke nur, dass sich noch einige Verbesserungen an der dort beschriebenen Einrichtung anbringen lassen. Um die Missstände zu beseitigen, welche alle Holzarbeiten mit sich führen, habe ich den Schlitten, so wie die Rollen, ganz in Messing ausgeführt. Dabei sind die Rollen dadurch centrirt, dass ihr innerer Durchmesser genau dem äusseren Durchmesser der dämpfenden Kupferhülse gleichkommt. Es lässt sich dies auch noch in anderer Weise erreichen, wenn man an diese Kupferhülse auf beiden Seiten ein Rohr anschraubt, dasselbe mit einer Theilung versieht und darauf die Rollen verschiebbar einrichtet, ähnlich wie beim Lamont'schen Galvanometer. Dabei sind aber die Klemmschrauben an den Drahtrollen zur Einschaltung beibehalten, da die Herstellung der Contacte nach der Lamont'schen Weise immer ihre Schwierigkeiten bietet.

Die Vereinigung des galvanometrischen Apparates mit der Ablesevorrichtung zu einem Ganzen hat den Vortheil, dass alle Schwankungen der Unterlage auf beide Theile nach der gleichen Seite wirken. Hat man dagegen die beiden Theile getrennt auf zwei verschiedenen Unterlagen, so kann es vorkommen, dass die Unterlage des Galvanometers

eine Schwankung erfährt, welche einer andern auf die Unterlage des Ablesefernrohres und der Scala ausgeübten Schwankung entgegengesetzt ist; man hat dann also die beiden Schwankungen als Fehler in der Ablesung.

Dagegen könnte man gegen die genannte Vereinigung einwenden, dass dadurch die Distanz des Fernrohres fixirt sei, während es für verschiedene Zwecke wünschenswerth wäre, die Distanz beider Theile — des Galvanometers und des Fernrohres mit der Scala — verändern zu können[1]). Für diesen Fall, welcher übrigens bei physikalischen Untersuchungen nicht häufig eintreten wird, habe ich die bereits in § 17 beschriebene, gesonderte Ablesevorrichtung construirt.

### 6. Das Thomson'sche Reflexionsgalvanometer.

52. Das Thomson'sche Reflexionsgalvanometer, welches als Sprechapparat des transatlantischen Kabels in der Neuzeit so grosse Berühmtheit erlangt hat, haben wir bereits durch die Mittheilung des Herrn Prof. Dellmann in seinen wesentlichen Theilen kennen gelernt.

Das Characteristische dieses Instrumentes, wovon Fig. 16 Taf. XIX eine vollständigere Zeichnung und Fig. 15 den Durchschnitt in etwas grösserem Maassstabe zeigt[2]), besteht darin, dass vermittelst desselben die Bewegungen der Magnetnadel in einer Scala objectiv dargestellt werden. Die Figuren sind nach den Dellmann'schen Mittheilungen sogleich verständlich und es ist dazu nur zu bemerken, dass Thomson die Directionskraft durch einen Magnet $NS$ vermindert, welcher an dem Rohre, in welchem sich der Coconfaden befindet, verschiebbar ist. Als Spiegel benützt Thomson Deckgläschen für Mikroskope, welche er versilbert, und kittet an diese sogleich den Magnet, der ungemein leicht ist und blos ein paar Linien Länge hat, fest[3]).

### Galvanometer für objective Darstellung der Bewegungen der Magnetnadel.

53. Wir haben in dem Thomson'schen Reflexgalvanometer ein Instrument kennen gelernt, bei welchem die Bewegungen der Magnet-

---

1) Ueber die erforderliche Grösse dieser Distanz vergleiche oben § 46 Note.

2) Schollen. Das transatlantische Kabel pag. 142.

3) Elliott Brothers in London haben ein solches Instrument zur Pariser Ausstellung gebracht.

nadel auf der Scala objectiv dargestellt werden. Man kann nun leicht das Instrument, so wie jedes Spiegelgalvanometer der Art einrichten, dass die Bewegungen des Magnetes auch von einem grösseren Auditorium wahrgenommen werden können.

Man stellt dem Galvanometer gegenüber (wie beim Thomson-schen Instrumente) einen Schirm mit einem Spalte auf, hinter welchem sich eine Lichtquelle (Gas- oder Petroleumlampe oder auch die Duboscq'sche electrische Lampe) befindet. Zwischen den Spalt und den Magnetspiegel bringt man in geeigneter Stellung gegen den letzteren eine Sammellinse und es wird dann das Bild des Spaltes auf eine entfernte Scala geworfen. Bewegt sich die Magnetnadel und damit der Spiegel, so bewegt sich auch das Bild des Spaltes an der entfernten Scala hin und her.

Du Bois Reymond hat schon im Jahre 1855 nach diesem Verfahren seine feinsten thierisch-electrischen Versuche im Hörsaale der Royal-Institution zu London zahlreichen Zuhörern zur Anschauung gebracht. Er bemerkt jedoch selbst in einem darüber an Magnus gerichteten Schreiben[1]), dass Helmholtz dasselbe Verfahren bereits mehrere Jahre zuvor mit Erfolg in seinen Vorlesungen angewendet habe.

1) Poggendorff's Annalen Bd 95 p. 607.

# Der Meteorograph.

Von

**Neumayer.**

(Hiezu Tafel XXI.)

Herr Dr. Neumayer, ehemaliger Director der Sternwarte zu Melbourne, hatte die Güte, uns seine interessante Abhandlung: „On Meteors in the Southern Hemisphere" einzusenden. Es findet sich darin die ausführliche Beschreibung des von Neumayer construirten Meteorographen, d. h. des zur Beobachtung der Sternschnuppen von ihm gebrauchten Apparates, welche wir im Folgenden unseren Lesern wiedergeben wollen.

Der Meteorograph, welchen Tafel XXI in seinen einzelnen Theilen darstellt, ist nach dem äquatorealen Systeme montirt. In den Figuren 1 und 2 bezeichnen *ab* die Polar- und *cd* die Declinations-Axe; *w* und *w'* sind mit Papier überzogene Rollen, deren eine *w* zur Aufnahme der Registrirungen der geraden Aufsteigungen und die andere *w'* für die Declinationen dient. An dem einen Ende einer jeden Rolle befindet sich ein getheilter Kreis, so dass der eine den Stundenkreis, der andere den Declinationskreis darstellt. Das untere Ende der Polaraxe ruht auf der Grundplatte *mn* des Gestelles mittelst eines Gelenkes *x*, während sie andererseits in der zur Erdaxe parallelen Lage durch den Träger *kyie* gehalten wird. Von den Schrauben wird die Axe in den ihr von dem Messingarme *ie* ertheilten Richtungen gehalten. Es befindet sich daran ein Gelenk bei *y*, mittelst welches der Messingarm *ie* wieder senkrecht gegen die Axe in dem Falle eingestellt werden kann, dass er durch die Schrauben *k* und *i* gehoben oder gesenkt wurde. Es ist klar, dass beim Gebrauche von zwei Adjustirschrauben *k* und *i*, wie beim vorliegenden Instrumente, die Winkelbewegung beträchtlich vergrössert wird, wodurch das Instrument in Breiten zwischen 30° und 47° gebraucht werden kann, während

ihre mittlere Position 38° 30′ beträgt. Die Zapfen der Declinationsaxe ruhen in den Grundplatten des Messinggestelles *z*, *z*, in welchen sie durch die Klemmschrauben *β*, *β* (Figur 3) festgehalten werden.

Einen Haupttheil des Instrumentes bildet der Apparat zum Notiren der Beobachtungen auf dem Papier der Rollen; da nun der für die Declinationsrolle und der für die Rectascensionsrolle mit sehr wenigen Unterschieden identisch sind, so wird für beide dieselbe Beschreibung gelten. Die entsprechenden Theile des Declinationsapparates sind dadurch unterschieden, dass den bei der Beschreibung des Stundenapparates gebrauchten Buchstaben ein Strich beigefügt ist. *su* ist eine lange und fein geschnittene Schraube, welche sich in der Messingmutter *v* drehen lässt. An dieser Schraube ist eine excentrische Hemmung und am oberen Ende ein Bleistift angebracht, der gegen die Rolle gedrückt wird, wenn die Excentric, die sich mit der Schraube dreht, bewirkt, dass ihn der kleine Hebel *ut* nach abwärts drückt. Sobald mittelst dieses Arrangements auf der Rolle ein Punct gemacht ist, so fällt beim Weitergehen der Hebel zurück und es wird damit der Bleistift zurückgezogen, welcher mittelst einer kleinen Feder in dem kurzen Cylinder, der den Behälter des Ganzen bildet, wieder in seine ursprüngliche Lage zurückgebracht ist. Die Schraube dreht sich frei in einer Aushöhlung des Bleistiftapparates, welcher an der Bewegung Theil zu nehmen durch zwei kurze Messingstücke, die zwischen den Schienen *α*, *α* hingleiten, gehindert ist. Bei jeder Umdrehung der Schraube wird so ein Punct auf dem Papier gemacht, so lange gleichzeitig der Bleistift um eine Schraubenwindung nach der andern vorwärts geschoben wird, wodurch zugleich die Coincidenz von zwei auf einander folgenden Puncten verhütet ist.

Richtet man also das Fernrohr des Instrumentes auf einen bestimmten Stern und markirt man mit den Bleistiften beider Apparate in der eben beschriebenen Weise Puncte auf die entsprechenden Rollen, dreht man dann das Fernrohr nach einem zweiten Stern hin, indem man auf die gleiche Weise seine Position auf den Rollen notirt, so erhält man die Unterschiede nach Declination und gerader Aufsteigung für beide Sterne, wenn man die bezüglichen Kreise abliest. Im Falle nach vielen Beobachtungen der Bleistift am Ende der Rolle angekommen ist, so wird der Hebel *ut* aufgezogen und die Schraube zurückgedreht, wodurch dann der Bleistift-Apparat wieder an das untere Ende der Rolle zurückgebracht werden kann.

Die Beobachtungsweise mit dem Meteorographen ist nun für Jeden völlig verständlich, der mit der Theorie der Aequatoreal-Instrumente im Allgemeinen bekannt ist, und es sind blos noch einige Bemerkungen hinzuzufügen, welche sich auf die Beobachtungen der Sternschnuppen mit dem Instrumente, so wie auf die Art und Weise der Ablesung und Aufzeichnung der Resultate beziehen.

Das Instrument muss entweder im Freien aufgestellt werden und in diesem Falle befindet es sich auf einem beweglichen Gestelle, wie man dies aus Figur 4 ersieht; oder man will es in einer kleinen Hütte aufstellen, bei welcher das Dach abgenommen werden kann, so dass man eine den ganzen Horizont beherrschende Aussicht erhält. Im letzteren Falle muss das Instrument permanent auf einen Steinpfeiler montirt werden und es sind dabei dieselben Adjustirungen vorzunehmen wie bei anderen Aequatoreal-Instrumenten, was man in jedem Lehrbegriffe der practischen Astronomie angegeben findet. Das Instrument mit beweglichem Stative soll auf drei Holzklötze aufgestellt werden, welche fest in den Boden eingerammt sind. Die Füsse des Dreifusses sollen an diese Holzklötze festgeschraubt werden, damit die Stabilität gesichert und die Vorbereitung des Instrumentes für die Beobachtung erleichtert wird. Mittelst der Schrauben $r, r, r$ (Figuren 1 und 2) wird die Grundplatte horizontal gestellt, während sie durch die Schraube $q$ und die Mutter $p$ an den festen Theil des Gestelles $FG$ angezogen wird. Ist die Polaraxe nur wenige Grade ausserhalb der Meridianebene, so kann die genaue Einstellung mittelst der Tangentialschraube $O$ bewerkstelligt werden. Es muss dann untersucht werden, ob die Polaraxe genau in der Polhöhe und der Meridianebene steht, ob die Collimationslinie des Fernrohres senkrecht gegen die Declinationsaxe und diese wieder senkrecht gegen die Polaraxe steht. Der Index des Stundenkreises soll auf Null zeigen, wenn das Fernrohr im Meridian steht, während der Index des Declinationskreises auf Null zeigen soll, wenn die Collimationslinie dem Aequator parallel gerichtet ist.

An dem Gestelle ist überdies der Schlüssel eines Chronographen bei $N$ (Figur 4) angebracht, von dem aus die Drähte $N$, $P$ zum Observatorium geleitet werden. Eine kleine Lampe kann in den Kasten des Dreifusses gestellt werden; sie erleuchtet schwach die matte Glasscheibe bei $M$, wo alle Bemerkungen in Bezug auf Farbe, Dauer und andere Eigenthümlichkeiten notirt werden. Hat man keinen Chronographen zur Verfügung, so lässt man auf dem Glase einen Flecken

hell, um die Zeit von einer im Kasten befindlichen Uhr ablesen zu können.

Der Beobachter, welcher den Schlüssel des Chronographen stets mit seinem Finger in Berührung hält, hat nun, so bald er einen Sternschnuppen sieht, die Zeit zu notiren und den Lauf des Meteors mit Berücksichtigung des Punctes des Aufleuchtens und Verlöschens durch Vergleiche mit benachbarten Sternen zu betrachten, sodann das Fernrohr[1]) nach einander auf beide Puncte einzustellen und mit Hilfe der Schrauben und Bleistifte die Declination und gerade Aufsteigung zu registriren. Damit beim Einstellen des Fernrohres keine Verzögerung eintritt, ist keine der Rollen geklemmt, sondern eine Feder, die in zwei über einander gehende Cylinder $Q$ eingeschlossen ist, bewirkt, dass die Rollen in ihrer Lage festgehalten werden, ohne der Bewegung des Fernrohres nach irgend einer Richtung zu grossen Widerstand zu bieten. Diese Anordnung hat den Vortheil, dass sie eine unmittelbare Einstellung des Telescopes zulässt, während beim Gebrauche der Klemmschrauben ein Zeitverlust unvermeidlich ist. Es ist gut, zur Controlle gelegentlich einen wohl bestimmten Stern oder einen Planeten zu registriren. Die so angesammelten Beobachtungen werden nun unter Tags mittelst des Index genau abgelesen und in ein Register eingetragen. Wenn es erforderlich ist, wird das die Rollen umgebende Papier erneuert und die Schrauben wieder in Thätigkeit versetzt.

---

1) Handelt es sich darum, das Fernrohr gegen die zu notirenden Puncte am Himmel zu richten, so ist es nicht nöthig, durch dasselbe hindurch zu schauen; eine an demselben befindliche Einrichtung mit Diopteren, welche parallel zur Collimationslinie gerichtet sind, erfüllt den Zweck vollkommen.

# Kleinere Mittheilungen.

## Wiedemann's
## Apparat zur Darstellung des Geyserphänomens im Hörsaale.

(Hiezu Tafel XVII Figur 6.)

Als ich vor Kurzem das physikalische Cabinet des Polytechnikums in Carlsruhe besuchte, sah ich daselbst unter Anderm einen sehr instructiven Apparat, welchen Wiedemann zur Darstellung des Geyserphänomens im Auditorium construirt hat. Derselbe besteht aus einem geeigneten, hölzernen Fussgestelle $F, F$ (Figur 6 Tafel XVII), welches ein vertical stehendes Glasrohr $a$, $a$ trägt, das unten in eine Kugel $k$ endigt. In diese Kugel mündet seitlich eine zweite Glasröhre $b$, $b$ ein, deren oberes Ende zu einem Wasserreservoir geführt wird. Nachdem die Kugel $k$ und die Röhre $a$, $a$ mit Wasser gefüllt sind, erhitzt man erstere mit einer Lampe $L$ und erhält nun das Geyserphänomen im Kleinen. Zuerst steigen aus der Mündung der Röhre $a$, $a$ Dampfblasen auf, welche immer häufiger werden, bis endlich die ganze Wassersäule in die Höhe geworfen wird. Hierauf füllt sich die Röhre $a$ $a$ wieder vom Wasserreservoir aus und das Phänomen wiederholt sich. Um das Abfliessen des Wassers zu vermeiden, ist oben ein mit einem Rande versehener Blechteller $C$ angebracht. C.

---

## Die Sprengel'sche Quecksilberluftpumpe.

(Hiezu Tafel XIII Figur 1.)

Die Sprengel'sche Quecksilberluftpumpe besteht in ihrer einfachsten Anordnung aus einem Trichter $A$, der in passender Weise mit einer langen verticalen Glasröhre $CK$ verbunden ist, wobei letztere in ein Quecksilbergefäss $B$ einmündet. Die Verbindung zwischen dem

Trichter und der Röhre wird durch ein Kautschuckrohr *C* hergestellt, wofür man die vulcanisirten Kautschuckröhren benützt, welche frei von Metalloxyden und daher nicht porös sind; die luftdichte Verbindung zwischen Trichter und Glasröhre wird dadurch hergestellt, dass das gut anschliessende Kautschuckrohr an den Verbindungsstellen mit Kupferdraht umwunden und hierauf diese Stellen mit geschmolzener Guttapercha verkittet werden. Dieser luftdichte Verschluss ist die einzige nothwendige Bedingung, welche bei der vorliegenden Construction erfordert wird. Die Kautschuckröhre ist zum Zwecke der Herstellung und Unterbrechung der Communication zwischen Trichter und Glasrohr mit einem Quetschhahne (clamp) *C* versehen. Wird der Trichter *A* mit Quecksilber gefüllt und der Quetschhahn sodann gelüftet, damit das Quecksilber in kleinen Antheilen nach und nach durch die $2^1/_2$ Millimeter weite Glasröhre *K* abfliessen kann, so wird jede der kleinen Quecksilbersäulen gleichsam wie ein Kolben, der von oben nach unten geführt wird, die Luft vor sich her treiben und aus der Röhre zum Entweichen bringen. Das Rohr *K* kann in einer geeigneten Quecksilberwanne *B* ausmünden, und man kann hier die ausgetriebene Luft oder die etwa in dem Rohre *K* angesammelte Gasmenge in dem Gefässe *R* unter Quecksilber auffangen. Das Hauptrohr *K* communicirt mit einem an ihm angebrachten Seitenrohre *H*, welches in geeigneter Weise mit dem Recipienten verbunden werden kann, worin die Luft evacuirt werden soll, während dieses Zweigrohr mit einem vertical stehenden in das Quecksilbergefäss einmündenden Glasrohr *O* luftdicht verbunden ist, das, wenn es mit einem Maassstabe versehen ist, ein Manometer, nämlich die Barometerprobe bildet.

Das Spiel der Pumpe ist leicht einzusehen. Unter Anwendung der gehörigen Quecksilbermenge etc. soll diese einfache Anordnung ausreichen, um ein vollkommenes Toricelli'sches Vacuum herzustellen, da bei den mit einem solchen einfachen Apparate angestellten Versuchen die Quecksilbersäule in der Barometerprobe *O* denselben Stand zeigte, wie ein daneben aufgestelltes Barometer. Eine als Recipient benutzte Geissler'sche Röhre, welche mittelst der Luftpumpe evacuirt wurde, zeigte beim Durchgange von inducirten Strömen im Spectralapparate keine Spur der Anwesenheit von atmosphärischer Luft oder Stickstoff mehr; blos ein stahlblauer Lichtstreifen war wahrnehmbar und derselbe schien vom Quecksilberdampfe herzurühren. Bei gehöriger Ausstattung scheint daher die Sprengel'sche Luftpumpe für

den practischen Gebrauch erhebliche Erfolge zu versprechen. Der Referent im Dingler'schen polytechnischen Journale (1867. 2. Aprilheft) bemerkt zu dieser Beschreibung sehr richtig Folgendes:

Das Princip der im Vorstehenden besprochenen Quecksilberluftpumpe ist wohl das einfachste und gehört allerdings zu den primitivsten, da einige der ältesten Quecksilberluftpumpen, wie sie gegen Ende des vorigen Jahrhunderts zum Vorschlage kamen, nahezu auf dasselbe Princip gegründet sind, nach welchem nämlich eine vertical herabfallende Quecksilbersäule einen luftverdünnten Raum in den mit dem Stiefel in Verbindung stehenden Organen herzustellen hat. Eine wesentliche Vereinfachung der Anordnung von Sprengel besteht darin, dass die Anwendung von Hähnen auf ein Minimum reducirt ist. Die Selbstthätigkeit des Apparates lässt jedoch Manches zu wünschen übrig, da unter Anderem, wenn der Apparat nicht in grossen Dimensionen ausgeführt wird, um bei Anwendung einer bedeutenden Quecksilbermenge, welche der Trichter fassen muss, um selbst in grossen Recipienten die Luft zu evacuiren, das wiederholte Füllen des Trichters mit Quecksilber mindestens als umständlich betrachtet werden muss; für specielle Zwecke hingegen, wie namentlich bei der Herstellung von Geissler'schen Röhren und Versuchen mit denselben, dürfte die einfache Anordnung von Sprengel sehr gute Dienste leisten, da der schädliche Raum bei derselben fast als verschwindend klein erscheint.

---

## Beschreibung einer Quecksilberluftpumpe.

Von Gustav Le Bon.

(Hiezu Figur 2 Tafel XIII.)

Herr Le Bon beschreibt im Moniteur Scientifique (1 avril 1867) seine Quecksilberluftpumpe folgendermaassen:

*V* ist eine Glasglocke, welche an ihrem unteren Theile in eine 76 Centimeter hohe Röhre endigt, die mit dem Pumpenstiefel *M* in Verbindung steht. Diese Glocke ist mit zwei Ventilen versehen, welche sich in dem durch die Pfeile angezeigten Sinne öffnen. Das eine Ventil *T* setzt die Glocke mit der Luft in Verbindung, das andere *S* mit dem Recipienten *W*, in welchem man den luftleeren Raum er-

zeugen will. *R* ist ein Hahn, welcher eine Communication zwischen *V* und *W* vermittelt; er bleibt während des ersten Theiles der Operation geschlossen. *M* ist ein Pumpenstiefel, in dem sich ein Kolben *P* bewegt, welcher mittelst des Hebels X Y in Bewegung gesetzt wird.

Füllt man nun ein für alle Mal die Glocke *V* mit Quecksilber, während man dabei den Kolben *P* am Boden des Stiefels aufsitzen lässt, zieht man dann diesen Kolben in die Höhe, so werden folgende Vorgänge eintreten. Da das Gewicht der atmosphärischen Luft nur einer Quecksilbersäule von 76 Centimeter Höhe das Gleichgewicht halten kann, so wird alles Quecksilber, das über der Röhre *AB* steht, d. h. alles in der Glocke *V* enthaltene Quecksilber, durch den Luftdruck in den Pumpenstiefel *M* gedrückt werden und in der Glocke *V* ein leerer Raum entstehen. Allein nun wird der Druck der in dem Recipienten *W* eingeschlossenen Luft das Ventil *S* heben und ein Theil der in *W* enthaltenen Luft wird nach *V* gehen, bis Gleichgewicht zwischen beiden Gefässen hergestellt ist. Das Ventil *T* bleibt durch das Gewicht der äusseren Luft geschlossen. Senkt man nun den Kolben *P*, so wird das Quecksilber in der Glocke *V* in die Höhe steigen; die daselbst eingeschlossene Luft wird immer mehr comprimirt und dadurch das Ventil *S* sich vollständig schliessen; dagegen wird sich das Ventil *T* öffnen und so die in der Glocke *V* enthaltene Luft austreten.

Hebt man nun wieder den Kolben, so wird wieder in der Glocke ein luftleerer Raum entstehen, *S* wird sich öffnen und ein weiterer Theil der in *W* enthaltenen Luft wird nach V übertreten, und wenn man den Kolben wieder senkt, aus der Glocke austreten. Dasselbe hat bei jedem weiteren Kolbenzuge statt.

Nach einer bestimmten Anzahl von Kolbenzügen wird man — wie dies auch bei den gewöhnlichen Luftpumpen der Fall ist — dahin gelangen, dass die Luft im Recipienten *W* so verdünnt ist, dass ihre Spannung das Ventil *S* nicht mehr hebt, und es wird so die Communication zwischen beiden Gefässen unterbrochen. Dann wird man sich des Hahnes *R* bedienen, um nach jedem Kolbenzuge die Verbindung zwischen *V* und *W* herzustellen und zu unterbrechen und dadurch das Ventil *S* zu ersetzen. Man könnte diesen Hahn mit der Hand öffnen und schliessen, allein es ist weit einfacher, ihn mittelst eines Hebels mit der Kolbenbewegung zu verbinden. Man kann so die Luftverdünnung so weit treiben, als man immer will.

Schliesslich möchte ich bemerken, dass diese Luftpumpe nur eine ganz geringe Kraft bedarf, um in Bewegung gesetzt zu werden. Da das Gewicht des Quecksilbers mehr als hinreichend ist, um den Kolben zu heben, so reducirt sich die ganze Arbeit auf das Senken desselben und hier kann man durch ein am Hebel $XY$ angebrachtes Gegengewicht die Arbeit auf ein Minimum reduciren. Ich brauche wohl kaum hinzuzufügen, dass in unserer Figur der Apparat blos dem Wesen nach dargestellt ist. In der Wirklichkeit haben die Ventile eine ganz andere Form, die Glasgefässe sind durch eiserne ersetzt u. s. f.

---

## Neue Construction der Wage.

(Autographirte Zuschrift des Herrn Ingenieurs **Paul Bunge** in Hamburg an den Herausgeber.)

Hiezu Tafel XX Figur 6.

Hiedurch erlaube ich mir, die in meiner mechanischen Werkstatt producirten, von mir neu construirten Wagen jeder Art und Grösse, besonders aber solche für feinere Wägungen, Ihrer geneigten Beachtung zu empfehlen. Ihre Vorzüge sind folgende:

Möglichste **Kürze** des Balkens und ein Maximum der **Leichtigkeit** und **Festigkeit** sämmtlicher Theile, bedeutende **Länge** der Zunge und in Folge dessen ein bisher wohl unerreichter hoher Grad von **Empfindlichkeit** bei kurzer Schwingungsdauer und geringe Abnutzung der Schneiden, die durch zweckmässige Länge und Härte, wie durch eine sogenannte Arretirung zum vollständigen **Entlasten** aller 3 Schneiden noch möglichst reducirt wird. In wie fern die Kürze des Balkens vortheilhaft auf die Empfindlichkeit der Wage wirkt [1], zeigt die bekannte Formel: $\text{tg.}\,\alpha = \frac{p.l.}{a\,(G + 2P + p)}$, wo $\alpha$ den Ausschlagwinkel bei einem kleinen Uebergewicht $p$, $2l$ die Entfernung der Endachsen, $G$ das Gewicht des Balkens, $2P$ das beider Schaalen incl. Belastung, $a$ die Entfernung des Schwerpunktes der ganzen schwingenden Masse von der Mittelachse, variable durch Durchbiegung des Balkens bei verschiedener Belastung, bedeuten. Bei gleicher Steifigkeit

1) Cfr. Repertorium Bd. I. pag. 12.



wächst mit der Länge des Balkens das Trägheitsmoment seines Querschnitts in der 3. Potenz, die Querschnittsfläche mit der Quadratwurzel aus der 3., das Gewicht des Balkens mit der Quadratwurzel aus der 5. Potenz. Beispielsweise würde demnach ein Balken von 20″ Länge 32 mal so schwer sein, als ein gleich steifer von 5″ Länge. Um practisch zu sein, muss eine Wage kurze Schwingungsdauer haben. Die Schwingungsdauer ist gleich der eines mathematischen Pendels von der Länge gleich dem Quotienten aus dem Trägheitsmoment der schwingenden Masse durch deren statisches Moment, bezogen auf die Drehachse, also proportional der Balkenlänge und umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Grösse $a$ in obiger Formel. Für eine gegebene Schwingungsdauer wird demnach $a$ proportional $l^2$ wachsen und obige Formel für eine Balkenlänge $= 2nl$ sich folgendermassen gestalten: $\operatorname{tg.} \alpha = \frac{p. n. l.}{n^2 a (\sqrt{n^5} G + 2P + p}$. Je kleiner hiernach $n$, desto grösser $\operatorname{tg.} \alpha$, je kürzer der Balken, desto empfindlicher die Wage.

Ich war bemüht, allen einzelnen Theilen, besonders aber dem Balken, diejenige Form zu geben, für welche bei bestimmter Inanspruchnahme das Product aus dem Gewicht des Theiles und dem Masse seiner Formveränderung in den Grenzen practischer Ausführbarkeit ein Minimum ist, wodurch ich z. B. Balken für 1000 Gramm Belastung erziele, die bei mehr wie ausreichender Festigkeit incl. Achsen, Justirvorrichtung und Zunge nicht volle 20 Gramme wiegen. Auch die Schaalen und ihre Aufhängungen sind entsprechend leicht, fest und so construirt, dass sie voluminösen Gegenständen möglichst grossen Raum gestatten. Die angewandten einfachen Formen grösster Festigkeit, möglichste Vereinfachung der Construction und die Hinweglassung alles entbehrlichen Materials und verunzierenden Zierraths bei sorgfältigster Ausführung geben der Wage ein elegantes Aeussere und ermöglichen einen ganz ungemein billigen Preis. So stellt sich derselbe beispielsweise für die auf Tafel XX in halber wirklicher Grösse dargestellte analytische Wage für 1000 Gramme Belastung von ausgezeichneter Empfindlichkeit bei correctester Ausführung ab hier auf 30 Thaler preuss.; mit Vorrichtung zur bequemen Anwendung des Reitergewichts und solcher zur specifischen Gewichtsbestimmung unwesentlich höher. Grössere Wagen in dieser Construction ganz besonders zu empfehlen, würden eine verhältnissmässig geringe Steigerung

des Preises bedingen und Wagen ohne Arretirung und Gehäuse und sonst ähnlicher Construction sich entsprechend billiger stellen.[1])

---

## Das electromagnetische Echappement von Tiede und die Pendeluhr im luftdicht verschlossenen Raume.

Mitgetheilt von Herrn Director, Professor W. Foerster an den Herausgeber der astronomischen Nachrichten.

(Hiezu Tafel XIV Figur 6.)

Auf der beiliegenden Zeichnung Tafel XIV bedeutet $PAL$ die Pendelstange, welche in $P$ an einer Feder aufgehangen ist und in $A$ einen Arm mit zwei durch Schrauben verstellbaren Contactspitzen $c_1$ und $c_2$ trägt.

Ueber diesen beiden Contactspitzen sieht man zwei Hebelarme $u_1\ g_1$ und $u_2\ g_2$. Dieselben drehen sich, jeder für sich, um die in der Uhrplatte eingelassenen Angelpuncte $u_1$ und $u_2$ und würden sich unter der Last der kleinen Gewichte $g_1$ und $g_2$ auf die Contactspitzen $c_1$ und $c_2$ herabsenken, wenn sie nicht von den Rubinsupporten $s_1$ und $s_2$ unterstützt würden.

Diese Supporte $s_1$ und $s_2$ sind in Verbindung mit einem Balancier, welcher sich um den Angelpunct $U$ dreht und dessen eiserne Endplatten durch die Anziehungskraft der Electromagnete $E_1$ und $E_2$ rechts oder links angehoben werden können.

Bei diesen Anhebungen wird die Bewegung durch die Schraubenspitzen $O_1$ und $O_2$ begränzt. Unterhalb der Electromagnete $E_1$ und $E_2$ und unter den Balancierenden befinden sich zwei permanente Magnete $M_1$ und $M_2$, deren Function später geschildert werden wird.

Zunächst tritt das Echappement mit Hülfe der Electromagnete $E_1$ und $E_2$ folgendermassen in Thätigkeit.

Lässt man das Pendel nach rechts ausschwingen, so trifft die Contactspitze $c_2$ auf ein Iridiumplättchen an der unteren Fläche des Hebelarmes $u_2\ g_2$ und schliesst dadurch einen Stromkreis, durch welchen der Electromagnet $E_2$ wirksam wird und das linke Balancierende mit dem Support $s_1$ anhebt, so dass dann das Gewicht $g_1$ seine grösste Hubhöhe und zugleich der Support $s_2$ seine correlative tiefste Stellung erreicht.

---

1) Wir erhalten so eben von Herrn Bunge eine genauere Zeichnung der Wage, welche im nächsten Hefte folgen wird. C.



Sobald nun in Folge der Rückkehr des Pendels der Gewichtsarm $u_2$ $g_2$ (der sinkenden Contactspitze $c_2$ folgend) den Support $s_2$ erreicht, wird der Contact bei $c_2$, also auch die Wirksamkeit des Electromagneten $E_2$ aufgehoben. In demselben Moment muss aber schon die andere Contactspitze $c_1$ die Lamelle $u_1$ $g_1$ fassen und dadurch den Electromagneten $E_1$ ins Spiel bringen, welcher nun den Support $s_2$ auf seine höchste Stellung hebt, und $s_1$ in die tiefste Stellung bringt.

Das Kraftmagazin des Pendels liegt also in den Anhebungen der kleinen Gewichte, welche von den Contactspitzen $c_1$ und $c_2$ des Pendelarmes in der höchsten Stellung getroffen werden und demselben bei der Rückkehr des Pendels bis in ihre tiefste Stellung folgen. Diese Bewegungsgrösse, deren Amplitude der doppelten Anhebung der Balancierenden und der Supporte entspricht, reicht hin, die Schwingungen des Pendels zu nähren.

Die Grundidee dieses Echappements ist nicht neu. Schon 1854 ist ein ähnliches von Liais ausgeführt worden, aber die Einrichtungen von Liais sind complicirter und verlangen die Erfüllung eines sehr delikaten Spieles von Hebelarmen, wenn die Variationen der galvanischen Stromstärke ohne merklichen Einfluss bleiben sollen.

Bei der obigen Einrichtung könnte theoretisch genommen kein Einfluss der Variation der Stromstärke bemerklich werden, wenn es gelänge, mit absoluter Präcision die beiden Contacte $c_1$ und $c_2$ sich wechselseitig ablösen zu lassen; denn dann würden alle electromagnetischen Wirkungen genau in Zeitpuncten auftreten, wo ihre, von der Stromstärke abhängige, schnellere oder langsamere Accumulation auf die Amplitude der Senkung der Gewichte $g_1$ und $g_2$ ohne Einfluss bliebe.

Tritt dagegen der Contact $c_1$ erst dann ein, wenn schon der Contact $c_2$ durch das Ankommen der Gewichtslamelle $u_2$ $g_2$ auf dem Support $s_2$ aufgehoben ist, so beginnt durch die Entkräftung des Electromagneten $E_2$ der Support $s_1$ und mit ihm das Gewicht $g_1$ bereits, sich der Contactspitze $c_1$ entgegen zu bewegen, so dass letztere je nach der Stromstärke oder der davon abhängigen Geschwindigkeit der Entkräftung des Electromagneten das Gewicht in verschiedener Höhe antrifft und dadurch mit dem Herabsinken desselben bis zur constanten unteren Grenze der Supportirung verschiedene Impulse erhält, die natürlich bald den Schwingungsbogen zu afficiren beginnen. — Wenn aber z. B. der Contact $c_1$ schon eintrifft, bevor der Contact $c_2$ aufgehoben ist, so tritt die Wirkung des Electromagneten $E_1$ zu

früh ein und schwächt die anhebende Wirkung von $E_2$, so dass auch in diesem Falle eine mit der Stromstärke variable Amplitude der Bewegung der Gewichte eintreten kann.

Dass solche Wirkungen stattfinden, hat das Experiment direct bewiesen. In den beiden eben erörterten Fällen betrug der Einfluss der Variationen der Stromstärke um $^1/_{30}$ ihres Werthes im täglichen Gange des Pendels bis zu dem vierten Theil einer Secunde. Da man aber die genaue Aufeinanderfolge der Contacte mit Hülfe der Schrauben sehr leicht erreichen kann, so scheint diese Quelle von Störungen dennoch leicht vermeidlich.

Mit Hülfe eines empfindlichen Galvanoscopes wird man unschwer bewirken können, dass zwischen der Folge der beiden Verbindungen bei $c_1$ und $c_2$ kein unmittelbar merklicher Spielraum mehr liegt.

Dennoch ist es mir nicht gelungen, auf diese Weise den Einfluss der Variation der Stromstärke ganz unmerklich zu machen, ja noch mehr, es zeigten sich selbst bei constant erhaltener Stromstärke deutliche Schwankungen, welche ich nach der Natur der begleitenden Umstände nur den Accumulirungen von Magnetismus in den Kernen der Electromagnete zuschreiben konnte. Es folgt daraus jedenfalls, dass es nicht möglich ist, die Justirung der beiden Contactspitzen mit so vollkommener Schärfe zu vollziehen und zu erhalten, dass Schwankungen, welche innerhalb des übriggebliebenen Spielraumes eintreten, bei einer grossen Anzahl von Summationen nicht merklich würden.

Nach längeren Versuchen fand ich endlich vollständige Abhülfe durch die Anbringung der beiden permanenten Magnete $M_1$ und $M_2$, welche Herr Tiede auf meine Veranlassung seinem Echappement einfügte.

Dieselben haben die einfache Wirkung, dass sie die jedesmal ihnen genäherten Balancierenden während jedes Spielraumes in der Aufeinanderfolge der Magnetisirungen von $E_1$ und $E_2$ festhalten, so lange bis die Anziehungskraft jedes dieser Electromagnete eine bestimmte Stärke erreicht hat.

Wenn jetzt z. B. der Contact $c_2$ aufhört, bevor $c_1$ gefasst hat, so hält trotz der Entkräftung des Electromagneten $E_2$ der Magnet $M_2$ den Balancier in der von $E_2$ gehobenen Lage d. h. in der höchsten Stellung so lange fest, bis $c_1$ Contact erreicht und nun erst die stärkere Magnetisirung von $E_1$ den Anker von dem permanenten Magnete $M_2$ hinwegzieht.

Hierdurch bekommt das ganze Echappement ein festeres Gepräge, die Bewegungen der Supporte $s_1$ und $s_2$, welche die Fallhöhe der Gewichte $g_1$ und $g_2$ bestimmen, gehen in unveränderlichen Amplituden vor sich und die mit der Stromstärke verschiedene Dauer der Accumulation zu electromagnetischen Wirkungen oder des Verschwindens derselben fällt gänzlich in solche Phasen der Bewegung der Supporte, in welchen dieselben ausser Connex mit den Gewichten und dem Pendelarm $A$ sind. Die Vollkommenheit dieses Echappements, von welchem übrigens meine Zeichnung nur eine allgemeine Anschauung geben soll, ohne in den Details und den Abmessungen auf Genauigkeit Anspruch zu machen, zeigte sich denn auch in einem während der letzten 90 Tagen beobachteten, ausgezeichnet schönen und constanten Gange des Pendels. Der Apparat muss nur vor ganz rohen Schwankungen der Stromstärke (z. B. $^1/_8$) vermittelst eines Rheostaten bewahrt werden, weil solche den täglichen Gang um einige Hunderttheile der Secunde ändern können.

Näheres darüber bei der ausführlichen Mittheilung der Beobachtungen.

Bei allen früheren electromagnetischen Echappements hat ferner die Oxydation der Contacte schliesslich alle Präcision der Echappements illusorisch gemacht.

Diese Störung hat Tiede durch die umfassendste Anwendung des Fizeau-Rühmkorff'schen Condensators aufgehoben.

Durch die richtige Einschaltung der Condensatoren ist es gelungen, die Contacte während 150 Tagen trotz 86,400 maliger täglicher Stromunterbrechungen spiegelblank zu erhalten, so dass die Erhaltung derselben während eines ganzen Jahres oder noch länger mit Fug und Recht erwartet werden kann.

Zur Signalisirung der Pendelschwingungen in jede beliebige Entfernung können endlich die Contacte bei $O_1$ und $O_2$ dienen, deren Stellung den grossen Vorzug vor vielen anderen Signalisirungs- oder Uebertragungseinrichtungen hat, dass sie ganz ausser Verbindung mit dem Pendel selbst sind, also dessen Gang in keiner Weise afficiren können.

Dieser ganze Apparat ist von Tiede mit Hülfe eines Glascylinders luftdicht umschlossen worden, so dass die Bewegung des Pendels von dem Einfluss der Barometerschwankungen vollkommen frei ist.

Gegen die Barometercompensation, durch deren Ausführung sich Professor Krüger in Helsingfors ein grosses Verdienst erworben hat,

hat der luftdichte Verschluss noch den Vorzug, dass man die Luft im Pendelraume durch Chlorcalcium vollkommen trocknen und somit das Pendel ganz gefahrlos in den feuchtesten Räumen von constanter Temperatur aufstellen kann.

Die electromagnetische Einrichtung, welche ich durch zwei gewöhnliche, acht bis zehn Wochen lang ausgiebige Meidinger'sche Elemente unterhalten habe, verlangt etwa alle vier bis fünf Tage eine Revision der Stromstärke, deren allmälige gröbere Aenderungen zu vermeiden sind, doch ist oft während zehn Tagen keine Veränderung derselben bemerklich gewesen, welche den täglichen Gang um 0·01 schwankend machen könnte.

Die electromagnetische Krafterneuerung des Pendels erschien anfangs für luftdichten Verschluss günstiger als eine Gewichteinrichtung, weil der luftdichte Aufzug des Gewichtes technische Schwierigkeiten zu verursachen schien. Neuerdings ist es jedoch Tiede gelungen, auch eine Gewichtsuhr in luftdichtem Raume bequem und sicher herzustellen. Diese Einrichtung wird noch etwas bequemer und sicherer wirken, als die electromagnetische, obgleich die letztere sich durch Präcision und Billigkeit empfiehlt.

Ich behalte mir vor, über die Details meiner Untersuchungen, welche der hiesigen Academie der Wissenschaften vorliegen, auch an dieser Stelle ausführlichere Mittheilungen zu machen.

Berlin, 1867 April 1. W. Foerster.

---

## Ueber ein mit galvanischem Strom und constanter Kraft in Bewegung erhaltenes Pendel.

Von Herrn Th. Knoblich.

Astronomische Nachrichten No. 1636.

(Hiezu Tafel XIV Figur 7.)

Bei Gelegenheit einer mir von Herrn Professor Peters mitgetheilten Bekanntmachung der Resultate der Untersuchung eines von Tiede ausgeführten, durch galvanischen Strom in Schwingung erhaltenen Pendels bin ich veranlasst, eines schon seit längerer Zeit von mir hierselbst aufgestellten Apparates (halb. Secundenpendels) Erwähnung zu thun, der im Princip dem Tiede'schen ähnlich, in der Ausführung einige Unterschiede zeigt, und sich bis jetzt sehr gut bewährt

hat. Der grosse Vortheil, der durch die Aufstellung einer Pendeluhr in luftdicht verschlossenem Raume gewährt wird, liegt auf der Hand, und ist wohl schwer auf andere Weise als durch Anwendung des Galvanismus auszuführen; ob die Art der Ausführung selbst nach dem Tiede'schen oder dem von mir ausgeführten System sich mehr bewähren wird, ist natürlich erst durch lange fortgesetzte Untersuchungen festzustellen.

Tafel XIV Figur 7 giebt eine Zeichnung des neuen Echappements, und folgendes sind die einzelnen Theile desselben:

*A* ist die Pendelstange; *B* das Aufhängungsstück des Pendels; *C* Electromagnete; *D* Anker; *E* Aufhängungsfeder des Pendels; *F* Impulsfedern; *G* Hebelarme des Pendels; *H* Arme des Ankers, welche die Impulsfedern heben; *I* stählerne Federn, welche die Hebelarme *K* drücken; *L* Elfenbeinplatten, welche die Feder *I* und die Metallplatte *M*, auf welcher die Klemme *N* sitzt, isolirt; *O* Schrauben an den Pendelarmen um den Abfall zu justiren; *P* Schrauben, durch welche man den Impuls auf das Pendel länger oder kürzer wirken lassen kann; *Q* Klemmen, an welchen das eine Ende vom Draht des Magneten befestigt ist.

Die Zeichnung stellt das Pendel in der Ruhe dar und dasselbe wird auf folgende Weise in Schwingung gesetzt und erhalten:

Beide galvanischen Ströme sind geöffnet. Der eine Pol des Elementes ist mit der isolirten Klemme *Q* in Verbindung gebracht und das andere Ende des Drahtes vom Magneten mit der isolirenden Klemme *N*. Wenn nun das Pendel von der rechten nach der linken Seite bewegt wird, so berührt die Feder *F* den Hebel $H_1$. Sodann geht der Strom durch die Feder $F_1$. (Die Welle des Ankers ruht in zwei Steinen und die Spitzen der Anschlagsschrauben *P* schlagen ebenfalls gegen Steine.) Von da geht der Strom weiter durch das Aufhängungsstück des Pendels und das metallene Uhrgehäuse, an welches der andere Pol befestigt ist, in das Element zurück.

So wie nun der Magnet anzieht wird die Feder $F_1$ gehoben und bleibt in dieser angespannten Lage ruhen. Nun bewegt sich das Pendel von Links nach Rechts. Die Feder *F* verfolgt die Schraube *O* bis sie mit dem Hebel *H* in Berührung kommt. Sofort geht der Strom durch diesen Hebel hindurch um den Electromagneten, der Anker wird angezogen und die Feder wird sofort gehoben. Nun schwingt das Pendel noch etwas weiter, die Hebelschraube $O_1$ hebt

die Feder $F_1$ in die Höhe und trennt sie von dem Hebel $H_1$, wodurch der Strom unterbrochen wird. Die Feder $I$ führt den Anker vom Magneten ab und die Impulsfeder $F$ kann das Pendel so lange führen, bis sie den Hebel $H_1$ wieder berührt.

Der Hebelarm des Magneten ist so gesetzt, dass er während der Berührung mit der Impulsfeder auf der Platinfläche derselben eine sehr geringe schiebende Bewegung macht, um Staub und Oxyd zu beseitigen.

Theodor Knoblich.
Krille's Nachfolger.

## Ueber die Benutzung der Drehbarkeit der Kreise bei Meridianinstrumenten zur Anwendung des Hansen'schen Princips.

Von Herrn A. Martins.

Astronomische Nachrichten No. 1640.

Die fast an Unausführbarkeit grenzende Arbeit für den Astronomen, sämmtliche Theilstriche eines in kleine Intervalle eingetheilten Kreises in Bezug auf ihre Fehler zu bestimmen, hat bereits im Jahre 1840 den hochverdienten Director der Seeberger Sternwarte veranlasst ein Verfahren zu ersinnen, nach welchem nur die Untersuchung verhältnissmässig weniger Theilstriche erfordert wird. Dass trotz dieses Vortheils die unter der Bezeichnung „Hansen'scher Hülfsbogen" bekannte Einrichtung bisher geringe Verbreitung gefunden hat, lässt sich nur dadurch erklären, dass sie eine unwillkommene Complication des Instruments erfordert und einige Bedenken nicht ausschliesst, sowohl technischer wie theoretischer Natur. In Bezug auf letztere mag hier nur hervorgehoben werden, — ohne auf die ernsten Bedenken näher einzugehen, welche die Bewegung des Mikroskopträgers auf einem Theile des Instruments, dessen unveränderte Stellung durch den Reibungswiderstand alterirt werden kann, dennoch aber vorausgesetzt wird, hervorrufen muss, — dass bei der Trennung der Theilungen und Einführung zweier Gruppen von Ablesungsmikroskopen der Nullpunct des Höhenwinkels auf einem Umwege erhalten wird, und dass dies Fundament nicht der Verschärfung der Genauigkeit zu entsprechen scheint, die der einzige Zielpunct des Hansen'schen Verfahrens ist. Behält man dies Ziel im Auge, so darf man nicht unbeachtet lassen, dass der Kreis, auf dessen Ablesung sich wiederum die Ablesung der

Hülfsbögen stützt, nicht als unveränderlich, also nicht als sicheres Fundament betrachtet werden darf; wie denn auch die häufige Ablesung des Collimators als unvermeidliches Erforderniss bei Fundamentalmessungen in neuerer Zeit mehr und mehr anerkannt worden ist.

Bei strenger Verfolgung des Prinzips liegt es in der Consequenz, jede Höhenmessung auf dem directesten Wege auf den Collimator zurückzuführen, jedenfalls aber Zwischenglieder zu vermeiden, die als neue Fehlerquellen auftreten können.

Sobald dem Meridiankreise ein Collimator beigefügt ist, und wenn die Kreise auf der Achse sanft drehbar sind und durch eine einfache Manipulation mit der Achse fest verbunden werden können; dann besitzt ein solches Instrument, ohne jede Complication, alles Erforderliche zur Ausbeutung des Hansen'schen Prinzips, und zwar in einer Weise, die der Benutzung besonderer Hülfsbögen unbedingt vorzuziehen sein möchte.

Denkt man sich den Kreis in Fünfgradintervalle, und vier derselben, den vier Ablesungsmikroskopen entsprechend, in die feinen Unterabtheilungen getheilt; oder was dasselbe ist: hat man auf einem durchgehends fein getheilten Kreise die Fünfgradstriche und die Striche von vier, 90° Abstand von einander haltenden Fünfgradbogen (die wir Hülfsbogen nennen wollen) in den Unterabtheilungen untersucht, so handelt es sich darum, erstlich: den Kreis im Voraus zu drehen, dass bei der Einstellung des Fernrohres auf den Stern diese vier Hülfsbögen im Bereiche der Mikroskope sich befinden, und zweitens: dass der Nullpunct der Ablesung bekannt sei.

Um des bereits erwähnten Vortheils, den Collimator direct als Ausgangspunct für die Messung zu benutzen, theilhaftig zu werden, hat man nur das Fernrohr auf den Collimator gerichtet festzustellen, und den Kreis auf den negativen Höhenwinkel (Depressionswinkel) so zu stellen und fest zu klemmen, dass vom Begrenzungs- oder Fünfgradstriche des Hülfsbogens aus, nur die Anzahl der voll in dem Höhenwinkel enthaltenen Fünfgradintervalle gezählt sind. Nach dieser Drehung des Kreises stehen demnach, das Fernrohr auf den Collimator gerichtet gedacht, Fünfgradstriche unter den Ablesungsmikroskopen, welche als Nullstriche für die nachfolgende Drehung des Fernrohres zu betrachten sind.

Stellt man die Mikroskope auf diese Striche ein, während das Fernrohr auf den Collimator einsteht, so erhält man auf dem kürzesten

Wege die Nullstellung der Mikroskope für die unmittelbar folgende Höhenmessung, die durch die Ablesung der, mit den Nullstrichen ein und dasselbe System bildenden feingetheilten Bogen erhalten wird.

Wenn zwei Sterndurchgänge so schnell aufeinander folgen, dass die Zwischenzeit für die Ausführung des beschriebenen Verfahrens nicht ausreicht, so kann der zweite Kreis im Voraus für diesen Fall vorbereitet werden. Die Ablesung des Nullpunctes kann, wenn dies nicht vorher geschehen ist, auch nach dem Durchgange des Sternes erfolgen. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann auch die Messung eine Höhe an beiden Kreisen in gleicher Weise ausgeführt werden.

Was die technische Anwendung betrifft, so gestattet zwar jedes Instrument, dessen Kreise verdrehbar sind, die Ausführung des beschriebenen Verfahrens; die gewöhnliche Art und Weise wie solche Kreise an der Achse befestigt zu werden pflegen, nämlich die Anpressung der vorgelegten Scheibe durch eine gewisse Anzahl von Schrauben, würde jedoch zu zeitraubend und zu mühsam sein. Eine einfache und ganz dem Zweck entsprechende Einrichtung, die sich auch nachträglich ohne erhebliche Mühe und Kosten anbringen lässt, besteht darin, dass man die Anpressung des Kreises durch eine einzige centrale Schraubenmutter bewirkt, welche kugelförmig in die Vorlegescheibe eingesenkt wird, um eines centralen, gleichmässigen Druckes sicher zu sein.

Um der Gefahr zu begegnen, dass der Anzug dieser Mutter (mittelst eines bequem anzusteckenden Schlüssels) auf die Form oder die Lage des cylinderischen Zapfens einen Einfluss haben könnte, soll das männliche Gewinde nicht auf einem Theile des Zapfens, sondern auf einem besonderen cylinderischen Ansatze der Achse angebracht sein, der den Zapfen, von da ab, wo er aus dem dickeren massiven Achsenkopfe hervorragt, nicht berührt, ihn also, getrennt durch eine kleine Fuge, wie ein nicht anschliessendes Rohr umgiebt. Dieser bei der gewöhnlichen Construction fehlende cylinderische Ansatz mit Gewinde ist von gleicher Länge wie die Dicke der Vorlegeplatte, so dass der Raum dafür ohne Weiteres vorhanden ist, und lässt sich ganz gut nachträglich durch Schrauben befestigen.

Für die Drehung und feine Einstellung des Kreises besondere Vorrichtungen anzubringen, scheint durchaus nicht rathsam; denn erstlich lässt sich der Kreis, wenn er mit dem entsprechenden Fett aufgesetzt ist, aus freier Hand ganz gut auf Bruchtheile von Minuten

einstellen, — und das ist alles was nöthig ist — und zweitens kann eine solche Vorrichtung leicht Zwängungen und Unsicherheiten veranlassen, die bei der zwanglosen Feststellung des Kreises durch die bezeichnete Vorlegescheibe undenkbar sind.

Berlin, 1867 April 23. A. Martins.

---

## Zur richtigen Beurtheilung der Gewichtssätze feiner Wagen.

Herr Dr. K. L. Bauer, Assistent der Physik am Polytechnikum in Carlsruhe, theilt uns in einem Schreiben unter Anderem folgende Notiz mit:

„Ich habe mit der feinen Staudinger'schen Wage den zugehörigen Gewichtssatz untersucht auf die relative Uebereinstimmung der einzelnen Stücke. Es wurde sehr sorgfältig tarirt und die letzten Kleinigkeiten durch den Reiter ausgeglichen. Sehr nöthig ist es, die Wägungen wiederholt zu machen, weil selbst bei sorgfältigstem Auslösen und Arretiren, zumal bei den schweren Gewichten, die Wage sich ändert. Indem ich eines der Einzelgramme als Einheit annahm, ergab sich Folgendes:

| Angebliches Gewicht: | Wirkliches Gewicht: | Angebliches Gewicht: | Wirkliches Gewicht: |
|---|---|---|---|
| 0,001 | 0,0010479 | 1 | 1,0000 |
| 0,002 | 0,0020958 | 1 | 1,0000 |
| 0,005 | 0,0050395 | 1 | 1,0001 |
| 0,01 | 0,009979 | 2 | 2,0002 |
| 0,01 | 0,009979 | 5 | 5,0009 |
| 0,02 | 0,019958 | 10 | 10,0020 |
| 0,05 | 0,05019 | 10 | 10,0020 |
| 0,1 | 0,10004 | 20 | 20,0045 |
| 0,1 | 0,10004 | 50 | 50,0113 |
| 0,2 | 0,20008 | 100 | 100,0255 |
| 0,5 | 0,50015 | 100 | 100,0261 |
| 1 | 1,0000 (Annahme) | 200 | 200,0546 |
| | | 500 | 500,1342 |

Auffallend ist, dass von 1 aufwärts die Gewichte stets schwerer und schwerer (gegen die Angabe) werden, während abwärts Unregelmässigkeit herrscht; bei Anwendung vieler Gewichtsstücke bei einer Wägung können sich die obigen Abweichungen recht gut zu einem ziemlich bedeutenden Betrage addiren."

---

# Mittheilungen über die auf der Pariser Ausstellung befindlichen physikalischen, mathematischen und astronomischen Instrumente und Apparate.

(Fortsetzung von Seite 244.)

## Die meteorographischen Apparate.

### Von R. Radau.[1])

Die Idee, die meteorologischen Erscheinungen durch mechanische Hilfsmittel zu registriren, datirt nicht von gestern. Wir finden sie bereits im vorigen Jahrhundert mehrfach ausgesprochen. Um sie zu realisiren hat man viele Systeme versucht, allein wir befinden uns noch immer in der Periode der Tatonnements und die Erfahrung hat noch nicht in entschiedener Weise zu Gunsten des einen oder andern von denjenigen Hilfsmitteln gesprochen, welche bisher vorgeschlagen wurden und auf den verschiedenen Observatorien sich in Thätigkeit befinden.

Die Photographie und Electricität haben die Hilfsquellen der Beobachtungswissenschaften in so hohem Grade vervielfältigt, dass man jeden Tag eine neue Combination von Registrir-Apparaten entstehen sieht; allein die am öftesten übersehene Bedingung besteht darin, dass es sich nicht darum handelt, zu compliciren, sondern zu vereinfachen. Würde man dahin gelangen, für alle atmosphärischen Vorgänge solche Registrirapparate herzustellen, welche gestatteten die photographischen Manipulationen und die Anwendung von galvanischen Batterien zu vermeiden, so hätte man einige Aussicht auf allgemeinere Verbreitung, und dies ist es, was man nach meiner Ansicht für die Meteorologie zu erreichen trachten muss.

Die Photographie wurde von Ronalds und Brooke zur Registrirung des Standes des gewöhnlichen Barometers und Thermometers angewendet. Auf einem empfindlichen Papierstreifen, der durch ein Uhrwerk einher-

1) Études sur l'Exposition. — Paris, 1867. Guesneville.

gezogen wird, erzeugt ein constanter Lichtbüschel ein negatives Bild der Quecksilbersäule, deren veränderliche Höhe durch die Contour des weissen Theiles der continuirlichen Zeichnung, welche man auf diese Weise erhält, abgebildet wird. Dieses System ist angewendet in Greenwich, Oxford, Lissabon und an anderen Observatorien.[1]) Man könnte offenbar auf die gleiche Weise die meisten Erscheinungen registriren, welche geradlinige oder Rotations-Bewegungen, oder auch Niveauveränderungen verursachen: den Wind, den Regen, die Verdunstung, den Erdmagnetismus etc. Am Central-Observatorium zu Kew und an andern grossen Anstalten sind wirklich photographische Magnetometer aufgestellt, welche genau alle Variationen der Elemente des Erdmagnetismus aufzeichnen. Allein die Nothwendigkeit einer beständigen Beleuchtung, das Präpariren und Fixiren des Papieres, die Einrichtung der optischen Apparate etc. sind Unbequemlichkeiten, welche vielleicht die Einführung der Photographie in die gewöhnliche Praxis der Observatorien verhindern werden.

Die electromagnetischen Registrirapparate erfordern die Unterhaltung einer Batterie, allein sie gestatten die verschiedenartigsten Bewegungen auszuführen und fügen sich gelehrig allen Anforderungen einer gegebenen mechanischen Combination. Das Spiel dieser Apparate geht darauf hinaus, dass ein Markirstift einer beweglichen Fläche allemal dann genähert wird, wenn die Rotations- oder Translations-Bewegungen, welche durch eine continuirliche Erscheinung veranlasst werden, einen Strom schliessen oder unterbrechen. Es ist dies die Telegraphie auf Beobachtungen angewandt mit dem Unterschiede, dass es hier die Naturkräfte sind, welche den Manipulator in Thätigkeit versetzen, und welche, so zu sagen, sich selbst beobachten und

---

1) Der Meteorograph zu Lissabon, der von Salleron im Jahre 1853 construirt wurde, ist der Art eingerichtet, dass die Angaben verschiedener Instrumente parallel neben einander auf demselben Blatte erhalten werden. Am Barometer befindet sich ein Thermometer, dessen Stand die Ausdehnung des Barometers darstellt. Nimmt man die Differenz der Curven beider Instrumente, so hat man den auf Null reducirten Barometerstand. Diese mechanische Reduction ist auch in Kew angewandt.

Der electrische Meteorograph, welchen Salleron im Jahre 1860 für das Marinedepot zu Paris construirt hat, verzeichnet auf dem nämlichen Tableau die Richtung und Geschwindigkeit des Windes, die Regenmenge, den Barometerstand und die Temperatur. Er functionirt regelmässig seit dem Monat August des genannten Jahres, also seit sieben Jahren, und hat nur 1500 Francs gekostet. Die Curven werden von Metallspitzen auf grossen Blättern von Zinkpapier gezogen, auf welche zugleich entsprechende Scalen gedruckt sind.

überwachen. In vielen Fällen können diese Apparate durch eine Combination von Räderwerken und Hebeln ersetzt werden; allein sie sind von sehr grossem Nutzen, wenn es sich darum handelt, eine Bewegung auf eine nur einigermassen beträchtliche Distanz zu übertragen.

Wheatstone hat zuerst die Electricität zur Registrirung meteorologischer Data angewendet. Er misst die Niveauveränderung des Quecksilbers in einem Thermometer oder Barometer mittelst der Spitze eines Drahtes, der in die Röhre hineingeht und einen Strom schliesst, wenn er mit der Flüssigkeit in Berührung steht. Wenn die Spitze des Drahtes in periodischer Weise zwischen zwei fixen Niveau's steigt und sinkt, so kann man die Lage des veränderlichen Niveau's durch die Ordinate einer Curve erhalten, welche das andere Drahtende auf einem in horizontalem Sinne bewegten Papierstreifen markirt. Ein in den Schliessungskreis eingeschalteter Electromagnet wird z. B. einen Stift mit dem Papier in Berührung setzen, so lange die Drahtspitze in das Quecksilber eintaucht, und wird ihn vom Papier entfernen, so lange die Spitze sich in der Luft befindet; oder man wendet das electrochemische Papier von Bain an, auf welchem eine Metallspitze eine blaue Marke macht, wenn der Strom durch sie hindurchgeht. Die Länge des verticalen Striches, der während des Schliessens des Stromes erhalten wurde, repräsentirt die Höhe des Quecksilbers über dem unteren Niveau, welches die Drahtspitze beim Herabsinken erreicht. Auf diese Weise wird die Wheatstone'sche Methode ein graphisches Verfahren; allein Wheatstone selbst hat dies anders gemacht.

Er misst den Weg der Drahtspitze durch die Anzahl von Umläufen eines Uhrrades, welches den Draht hebt und dann rasch wieder fallen lässt. Dasselbe Uhrwerk versetzt vor der Kante eines Cylinders zwei biegsame Sterne (Typenräder genannt) in Drehung, welche mit erhabenen Ziffern am Rande versehen sind und deren Rotation dem von der Drahtspitze durchlaufenen Wege proportional ist. Im Augenblicke, wo diese in das Quecksilber eintaucht, wird der Strom unterbrochen und ein Hammer schlägt an die beiden Sterne, die sogleich auf den Cylinder zwei Ziffern drucken, welche die Höhe der Quecksilbersäule angeben. Der erste Stern macht z. B. einen Umlauf, und der zweite geht um einen Zahn vorwärts, während die Spitze um 1 Millimeter steigt; die von dem zweiten Sterne aufgedruckten Ziffern bezeichnen also Millimeter und die des ersten, welchen wir mit zehn Zähnen annehmen wollen, geben Zehntel eines Millimeters. Nach

jedem Aufdrücken geht der Cylinder um einen Zahn weiter und stellt so den Ziffern, welche mit dem Papier in Berührung kommen, eine neue Kante entgegen. Man kann offenbar in dieser Weise auf denselben Cylinder die mechanischen Ablesungen mehrerer Instrumente aufdrücken. Dieses System, welches einige Zeit vom Observatorium zu Kew für das Barometer, das Thermometer und das Psychrometer angewendet wurde, hat den Missstand, dass es nur isolirte, in Ziffern ausgedrückte Ablesungen giebt, während es sicher vorzuziehen ist eine continuirliche Linie vor Augen zu haben.

P. Secchi hat das System von Wheatstone dahin abgeändert, dass er an die Stelle der Räder einen Bleistift setzt, dem ein Uhrwerk eine horizontale hin und her gehende Bewegung ertheilt, während es gleichzeitig die Platinspitze hebt und senkt. Im Momente wo die Spitze das Quecksilber berührt, wird der Strom geschlossen, und ein am Wagen, welcher den Stift trägt, befestigter Electromagnet stösst diesen gegen das Papier; die Länge der Linie, welche er von diesem Momente an bis zum Ende seines Laufes zieht, giebt die Höhe der Flüssigkeitssäule über einem fixen Niveau an. Steigt die Spitze, so geht der Stift rückwärts und zieht eine neue Linie in entgegengesetztem Sinne, welche in dem Augenblicke unterbrochen wird, wo die Spitze aus dem Quecksilber heraustritt. Das Papier wird in der zum Weg des Bleistifts senkrechten Richtung verrückt, und die Anfangs- und Endpuncte des Stiftes stellen durch eine discontinuirliche Curve die Niveauveränderungen des Quecksilbers dar. Man sieht, dass die Angaben dieses Apparates noch intermittirend sind. Um auf diese Weise den Stand der beiden zum Psychrometer vereinigten Thermometer zu registriren, trifft Secchi die Anordnung, dass während des gleichzeitigen Herabsinkens der beiden Spitzen in die beiden Röhren der Stift in dem Momente zu zeichnen anfängt, wo die erste Spitze das Quecksilber im trockenen Thermometer berührt, und dass er das Papier in dem Momente verlässt, wo die zweite Spitze das Quecksilber des feuchten Thermometers (welches immer tiefer steht) trifft. Während des Steigens beginnt die Zeichnung im umgekehrten Sinne, wenn die zweite Spitze aus dem Quecksilber heraustritt, und endigt, wenn die erste Spitze gleichfalls herausgeht. Die Enden der auf einander folgenden Linien stellen dann durch von Viertel- zu Viertelstunde markirte Puncte die Curven der beiden Thermometer dar und die Länge dieser Linien repräsentirt ihre Niveaudifferenz.

Diese Combination ist in folgender Weise ausgeführt. Wenn die erste Spitze allein eintaucht, schliesst sie den Strom der Batterie, welcher durch diese Spitze in das Quecksilber geht und durch einen unten im trockenen Thermometer eingeschmolzenen Draht austritt; derselbe Strom circulirt dann durch die Windungen des Electromagneten, welcher auf den Stift wirkt, und dadurch wird der Stift gegen das Papier gedrückt. In dem Augenblicke aber, wo die zweite Spitze gleichfalls eintaucht, schliesst sie eine Zweigbahn des Schliessungskreises und der Strom wird in zwei Zweige getheilt. Die Zweigbahn des feuchten Thermometers enthält ein Uebertragungsrelais d. h. einen Electromagneten, welcher der Art auf einen Hebel wirkt, dass der Schliessungskreis des trockenen Thermometers und des Stiftes unterbrochen wird; der Stift wird frei und fängt erst wieder zu zeichnen an, wenn die zweite Spitze zum Niveau des feuchten Thermometers emporgestiegen ist. In diesem Momente wird der Schliessungskreis des secundären Armes unterbrochen, das Relais hört auf zu wirken, der Hauptschliessungskreis wird von Neuem geschlossen und der Stift legt sich an das Papier bis zu dem Momente an, wo die erste Spitze, indem sie aus dem Quecksilber des trockenen Thermometers heraustritt, den Hauptschliessungskreis von Neuem unterbricht.

Dies ist der Mechanismus, den Secchi bei dem Meteorographen im Jesuitencollegium zu Rom und bei dem, der sich auf der Ausstellung befindet, angewendet hat, um die Angaben des Psychrometers zu registriren. Der Stift und sein Wagen gehen vor einem rechteckigen Rahmen hin und her, welcher durch ein Uhrwerk während zweier Tage vertical herabgelassen wird. Die Endpuncte der so erhaltenen parallelen Linien geben die Niveau's des trockenen und feuchten Thermometers, woraus man die relative Feuchtigkeit der Luft durch Rechnung herleiten kann.[1])

Auf demselben Rahmen wird die Zeit des Regens durch einen zweiten horizontalen Stift verzeichnet, dem durch einen mit einem kleinen Wasserrade verbundenen Draht eine Vibrationsbewegung mitgetheilt wird; dieses Rad befindet sich über einer Rinne; wenn es regnet, so wird es gedreht und versetzt den Stift in Oscillation. Endlich sind noch auf demselben Rahmen die Variationen des Barometers

1) Wir werden unten die Missstände des zur Registrirung verwendeten Psychrometers anführen.

in einem Maasstabe von zwei Millimeter auf ein Millimeter Luftdruck verzeichnet. Wir werden später den zu diesem Zwecke angewendeten Mechanismus erklären.

Auf der entgegengesetzten Seite des Meteorographen bewegt sich ein dem ersten an Grösse gleicher Rahmen, braucht aber zehn Tage zum Herabgehen. Auf beiden Rahmen sind in kleine Quadrate eingetheilte Papierblätter von etwa 47 Centimeter Breite und 40 Centimeter Höhe aufgespannt. Der vordere Rahmen geht um 36 Millimeter in einem Tage oder um 1,5 Millim. in der Stunde herab, der hintere Rahmen legt 12 Centimeter im Tage oder 5 Millimeter in der Stunde zurück; dieser Maassstab für die Zeit an den beiden Tableau's ist vollständig ausreichend für den Gebrauch der practischen Meteorologie.

Die Angaben des Barometers und die Regenzeit werden auf dem vorderen Tableau des Meteorographen von Rom wiederholt um die Curven mehr auseinander gezogen zu erhalten, wodurch die grossen Oscillationen des Luftdruckes übersichtlicher werden. Neben diesen Daten werden die Stärke und Richtung des Windes, sowie die Temperatur der Luft, gegeben durch ein Metallthermometer, in einem Maassstabe von $4^1/_3$ Millimeter auf einen Grad des hunderttheiligen Thermometers registrirt. Die Geschwindigkeit des Windes wird durch parallele Linien dargestellt, welche den Weg bezeichnen, den der Luftstrom von Stunde zu Stunde durchlaufen hat; 5 Millimeter repräsentiren eine Seemeile, was 1 Millimeter auf 570 Meter gibt. Ein lebhafter Wind macht 10 Meter in der Secunde oder 36 Kilometer in der Stunde, welche auf dem Papier durch eine Linie von etwa 1 Decimeter dargestellt sind.

Der in Paris ausgestellte Meteorograph ist noch mit einem registrirenden Ombrometer ausgerüstet, welches bei dem Apparat im Collegium Romanum fehlt. Dieses Instrument lässt die Quantität des gefallenen Regens auf folgende Weise erkennen. Das von einem am Dache aufgestellten Trichter angesammelte Wasser kommt in ein engeres Gefäss, das unter dem Apparate aufgestellt ist, und hebt einen Schwimmer. Dieser Schwimmer ist an einer Stange mit einer Kette aufgehängt, welche sich um eine Rolle aufrollt und eine mit Papier bedeckte Scheibe in Drehung versetzt; die Rotation geht proportional der Regenmenge vor sich. Ein Stift, der vom Umfang zum Centrum geht und jeden Tag 5 Millimeter durchläuft, markirt durch seine Winkelablenkung die Quantität des gefallenen Wassers. Die Linien

dieses Ombrometers sind nicht mit denen der anderen Instrumente vergleichbar. Es wäre leicht gewesen, seine Construction der vorherrschenden Idee zu subordiniren, welche Secchi geleitet hat und nach welcher die Stifte aller Registrirapparate auf den beiden Tableau's sich neben einander bewegen sollten; man hätte nur nöthig gehabt, die Kette des Schwimmers mit einem der beiden Stifte, welche die Zeit des Regens auf beiden Seiten des Meteorographen markiren, in Verbindung zu setzen, indem man sich dabei begnügt hätte, dieses Datum ein einziges Mal zu registriren. So muss man glauben, dass das Ombrometer ein in der letzten Stunde hinzugefügtes Anhängsel sei.

Da das Psychrometer aus zwei Thermometern besteht, so gibt es schon implicite die Temperatur der Luft an. Gleichwohl hat es jedoch Secchi, wie bereits erwähnt, für nützlich erachtet, dieses Datum besonders zu registriren. Er hat zu diesem Behufe den Thermographen von Kreil angenommen, welcher früher zu Wien und Kremsmünster im Gebrauche war, aber seitdem wieder aufgegeben wurde. Es ist dies ein langer Kupferdraht, der in freier Luft aufgespannt ist und seine Ausdehnung und Zusammenziehung durch ein System von Hebeln auf den einen der Markirstifte überträgt. In Rom hat der Kupferdraht eine Länge von 17 Metern und eine Dicke von $5^1/_2$ Millimeter; er ist im Schatten hinter der Kirche von St. Ignaz der Mauer entlang aufgespannt, von der er um einen halben Meter absteht; das Gewicht, welches ihn spannt, beträgt 8 Kilogramm, die an einem Hebelarme von 0,50 Meter Länge hängen. Es dünkt uns, dass unter diesen Umständen die Elasticität des Drathes grossen Variationen unterliegen muss. Es wäre vielleicht der Mühe werth, andere Systeme von Thermographen, wie das von Morstadt oder das von Marey zu versuchen.

Morstadt wendete ganz einfach ein offenes Thermometer mit einem Schwimmer an, wodurch ein Stift gehoben und gesenkt wurde; der Thermograph von Klingert beruht auf demselben Principe. Man hat gegen dieses System einen wohlbegründeten Einwurf gemacht; es ist, um den Schwimmer in Bewegung zu setzen, eine grosse Quecksilbermenge erforderlich und man hat dann zu befürchten, dass es nicht rasch genug die veränderliche Temperatur der umgebenden Luft annimmt. Allein man könnte leicht das Quecksilber in eine Spirale vertheilen, welche der Einwirkung der Luft eine hinreichend grosse Oberfläche darbieten würde.

Der Thermograph von Marey ist ein Luftthermometer mit einem

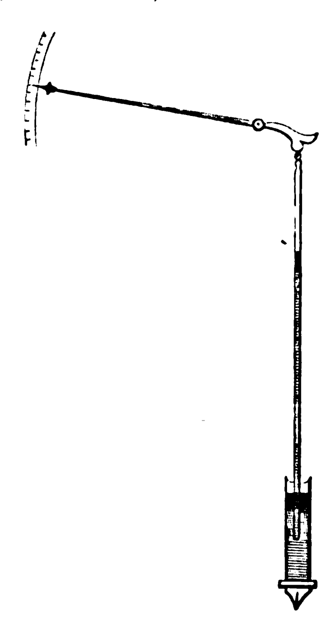
Quecksilberindex, das offen und um ein sehr bewegliches Rad gerollt ist. Der Index ist unten, die Kugel oben. Sowie die Luft im Innern sich ausdehnt, stösst sie die Kugel zurück; der Index bleibt nämlich immer im untersten Puncte der kreisförmigen Röhre; es gleitet also die Röhre am Index entlang und versetzt dabei das Rad in Schwankungen. Unglücklicherweise muss man hier der Verschiedenheit der Drucke im Innern und Aeussern der Kugel Rechnung tragen — dieses Thermometer ist also mit einer Barometercorrection behaftet. Ein Quecksilberthermometer von kreisförmiger Gestalt und um seinen Mittelpunct beweglich, würde vielleicht eine hinreichende bewegende Kraft für einen Thermographen liefern; sie würde aus der Verrückung folgen, welche der Schwerpunct in Folge der Ausdehnung des Quecksilbers erfahren würde. Das Gefäss könnte aus einem langen horizontalen Cylinder bestehen, der zugleich als Rotationsaxe diente; die Thermometerröhre wäre kreisförmig und hätte einen grossen Radius. Die Brüsseler Sternwarte besitzt einen Thermographen, der auf diesem Princip beruht.

Wild wendet beim Berner Meteorographen ein Metallthermometer an, das von einer Spiralfeder aus Stahl und Messing gebildet ist. Lamont gebraucht an der Münchner Sternwarte eine Zinkröhre von $2^{m},5$ Länge und $13^{mm}$ Durchmesser, welche auf Hebel wirkt wie der Kupferdraht am Thermographen von Kreil. Wir werden später sehen, dass noch eine Reihe von electrischen Thermographen existirt, die auf anderen Principien beruhen wie der von Wheatstone, allein die Construction ist bei allen sehr complicirt.

Ich komme nun zum Barographen von Secchi. Dabei muss ich etwas weit zurückgreifen, um die genaue Geschichte eines Instrumentes zu geben, das mir berufen scheint, grosse Dienste zu leisten, wenn es theoretisch und praktisch hinreichend studiert sein wird.

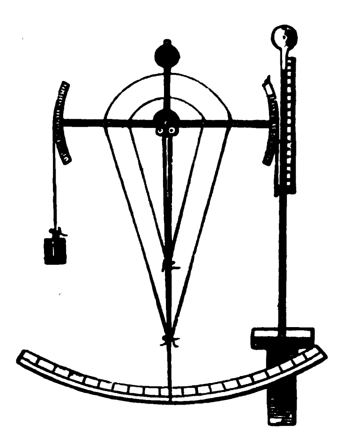
Das Experiment, auf dem dasselbe beruht, besteht darin, dass man an einem Wagbalken eine Barometerröhre aufhängt, welche frei in ein Quecksilberbad eintaucht. Der veränderliche Luftdruck wirkt dann oben auf die bewegliche Röhre und lässt sie sinken oder steigen, während er gleichzeitig die Länge der Flüssigkeitssäule im Innern der Röhre modificirt. Dieser Versuch ist schon beschrieben und erklärt in dem Werke von Cotes: Lectures on Hydrostatics (das im Jahre 1747 von Smith veröffentlicht wurde), worin der Versuch Wallis zugeschrieben wird; er ist ferner beschrieben in dem Cours

de physique von Desaguliers (in's Französische übersetzt von dem Jesuiten Pezenas, Paris 1751, t. II, lect. X p. 280) und, wenn ich nicht irre, auch von Mushenbroek. Desaguliers gibt eine Figur, die eine Barometerröhre darstellt, welche an einer Schale einer gewöhnlichen Wage aufgehängt ist, und er spricht davon, dass er das Gewicht der Atmosphäre durch eine veränderliche Tara misst. Auf diesem Principe beruht das Barometer, welches der berühmte Samuel Morland oder Moreland (der Erfinder des Sprachrohres) gegen das Ende des 17. Jahrhunderts construiren liess, und das sich unter der Bezeichnung steelyard-barometer (Wagebarometer) beschrieben findet in der Brittischen Encyclopädie, in der Encyclopädie von Rees, im Mathematical-Dictionary von Hutton (t. I. p. 207) im physikalischen Wörterbuch von Gehler (Neue Ausgabe t. I., p. 774), in den Wörterbüchern von Marbach (1834 und 1850), August (1842) etc. Wir geben die Zeichnung desselben nach Gehler, wo sie Hutton entlehnt ist (Figur 1). Muncke, der Bearbeiter des Artikels „Barometer“ im Gehler'schen Wörterbuche, empfiehlt das Morland'sche Barometer als sehr empfindlich und leicht zu beobachten; er spricht auch von Barometern von Coxe und Maguire, worauf wir später zurückkommen werden.



Figur 1. Barometer von Morland (1670).

In dem Journale des Abbé Rozier, das den Titel führt: Observations sur la physique (Maiheft 1782 t. XIX), findet man eine lange Abhandlung von Magellan, Mitgliede der kgl. Societät zu London, über die Barometer. Diese Abhandlung ist in dem gleichen Jahre in deutscher Uebersetzung (J. G. von Magellan's Beschreibung etc. Leipzig 1782) erschienen; es scheint sogar noch eine ältere Ausgabe zu existiren, die in London im Jahre 1779 gedruckt wurde. Der Verfasser beschreibt unter Anderem das „statische Barometer", wovon er die Erfindung Sir Samuel Morland zuschreibt. Er sagt, dass Morland sein Barometer vor dem König Carl II. zeigte, was den Ursprung dieser Erfindung auf die Jahre 1670 — 1680 zurückgehen liesse. Magellan fügt bei, dass er selbst ein solches Instrument besitzt, das lange Zeit vorher von Jonathan Sisson construirt war und das er in einigen Details verbessert hat; er gibt davon die in Figur 2



Figur 2. Statisches Barometer von Magellan (1782).

wiedergegebene Zeichnung. Er sagt, dass er noch einen anderen derartigen Apparat gesehen habe, der im Jahre 1760 von Adams construirt war und dem König Georg III gehörte. (Nach Forbes existirt dieses Barometer nicht mehr in der Sammlung zu Kew.) Das Barometer von Magellan ist mittelst eines Drahtes an einem Kreisbogen aufgehängt, der das Ende eines horizontalen Hebels bildet, und durch ein Gegengewicht äquilibrirt, das am entgegengesetzten Kreisbogen hängt; die Axe des Hebels ruht auf zwei Rollenpaaren, die zur Verminderung der Reibung dienen. Ein verticaler Zeiger gibt den Druck an einer Scala an, wenn die Röhre, die in ein Quecksilberbad ein-

taucht, unter dem Einfluss einer Aenderung des Luftdruckes steigt oder sinkt. Oben ist eine Kugel angeblasen, um die Wirkungen der Luftblasen zu neutralisiren, welche in die Röhre hineinkommen. Als Gegengewicht des verticalen Zeigers dient eine Metallkugel; Eisendrähte erhalten ihn in rechtwinkliger Lage gegen den horizontalen Hebel. Magellan sagt (p. 347), dass man eine grössere Wirkung erhalten kann, wenn man den oberen Theil der Röhre in eine weite Kammer vergrössert. Folgende sind seine eigenen Worte: ... „Bildet man, sagt Magellan, eine Röhre wie die in Figur IV, so dass die durch den Druck hervorgebrachten Veränderungen in dem Raum erzeugt werden, wo sich das Gefäss *FG* befindet, so wird der am Wagbalken erzeugte Effect und also auch die Angabe des Zeigers an der Scala sicherer sein..." Die Figur IV. auf welche er anspielt, stellt ein Heberbarometer dar; die Buchstaben *FG* sind daselbst angewendet, um eine weite Kammer oder, nach dem Ausdrucke von Magellan „einen dicken Cylinder am oberen Ende der Röhre" zu bezeichnen (p. 344 der Abhandlung). Ein anderes erwähnenswerthes Detail besteht darin, dass bei dem Barometer von Magellan die Höhen des Quecksilbers die doppelten von denjenigen waren, welche durch ein gewöhnliches Barometer angegeben wurden.

Der gleiche Autor entwickelt dann einen Vorschlag zu einem „perpetuirlichen Meteorographen", an welchem er alle Theile durch Zeichnungen darstellt. Er beruft sich auf den Nutzen, welcher erzielt würde, wenn man continuirliche Aufzeichnungen aller atmosphärischer Veränderungen an den verschiedenen Orten der Erde hätte. „Es genügt nicht, sagt er, z. B. zu wissen, ob ein Barometer oder Thermometer in der 8., 9. oder 12. Stunde des Tages diese oder jene Höhe anzeigt; man muss auch Kenntniss davon haben, ob irgend eine weitere Veränderung in der Zwischenzeit statt hatte, die zwischen der Stunde, wo man aufgeschrieben hat, und der des folgenden oder vorhergehenden Tages verflossen ist; sowie welches der Moment ist, wo jede Veränderung vorgegangen war ... Das Instrument, wovon ich eine Idee geben will, erzeugt die besprochenen Wirkungen. und ich werde es auf Grund dieser Betrachtungen hin „perpetuirlicher Meteorograph" nennen, weil es beständig die meteorologischen Beobachtungen für jede Tagesstunde gibt und zwar ohne anderes Zuthun als dass man dasselbe am Ende jeder Woche oder jedes Monats d. h. zu derselben Zeit aufzieht, wo man das Aufziehen der Uhr besorgt, welche ihm als Regu-

lator dient. Die Idee desselben ist so einfach und so leicht practisch herstellbar, dass es Jedermann leicht vor seinen Augen selbst von einem mässig geschickten Künstler mit geringen Mitteln ausführen lassen kann . . ."

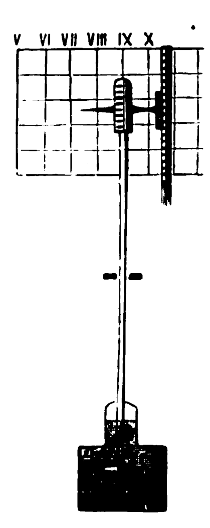
Magellan gibt sodann eine detaillirte Beschreibung der verschiedenen Instrumente, welche ihm am Besten seinem Zwecke zu entsprechen scheinen. „Vor Allem, sagt er, glaube ich, dass zur Anstellung meteorologischer Barometer-Beobachtungen das statiische Barometer das vortheilhafteste ist." Doch kann ein Heberbarometer, das mit einem Schwimmer versehen ist, gleichfalls zu diesem Zwecke gebraucht werden. Als Thermograph gibt Magellan dem Metallthermometer den Vorzug. Sein Anemograph besteht aus einer Windfahne nach d'Ons-en-Bray für die Richtung und aus einem Druckanemometer für die Stärke des Windes. Für die Feuchtigkeit wählt er das Hygroscop von Whitehurst, welches aus zwei aneinander geleimten Holzlatten besteht, deren eine quer zu ihrer Mitte geschnitten ist. Ein Pluvioscop mit Schwimmer und ein „Atmidometer", das aus einem Schwimmer gebildet ist, der ein mit Wasser gefülltes Gefäss trägt (das Gefäss steigt, wenn es durch die Verdunstung leichter geworden ist), ergänzen den Meteorographen. Magellan sagt, dass man auch ein „Rhoiameter" hinzufügen könnte, vorausgesetzt dass die Station in der Nähe eines Meereshafens gelegen sei; man müsste das Meer in den Keller leiten und eine Boje auf das Wasser setzen; es würde dann die Stange der Boje den Schwankungen der Ebbe und der Fluth folgen. Magellan will übrigens, dass die Bleistifte aller Instrumente parallele Curven auf einer Tafel ziehen, die mit Papier überzogen ist und durch ein Uhrwerk fortgezogen wird; er gibt eine Zeichnung des Tableau's, welches diese Linien bilden würden. Er fügt hinzu (p. 357), dass Hebel zur Vergrösserung der Bewegung der Instrumente in dem Falle dienen könnten, wo sie für die directe Schrift zu klein wäre. Er discutirt auch die Vortheile und Missstände des von Changeux vorgeschlagenen[1]) Registrirsystems, welches darin besteht, discontinuirliche Linien mittelst Federn zu erzeugen, die in Stahlspitzen endigen, welche kleine mit einem Uhrwerke verbundene Hämmer periodisch an das bewegliche Tableau anschlagen. Er fügt bei, dass seit fünfzehn Jahren eine von Cummings verfertigte Uhr

1) Journal de physique, chimie et histoire naturelle, XVI, 325.

den Barometerstand im Buckingham-Palast zu London nach diesem Systeme registrire.

Das Experiment des statischen Barometers kann auch noch in anderer Weise ausgeführt werden. Man kann es umkehren, nämlich die Röhre festmachen und das Gefäss aufhängen. Unter der letzteren Form wurde es von Coxe ausgeführt, welcher in London um Geld ein enormes Barometer sehen liess, dessen Gefäss, an einer Rolle aufgehängt, 100 Kilogramm Quecksilber enthielt. Wenn es herabsank, zog das Gefäss eine Uhr auf und der Erfinder hat deshalb sein Instrument ein perpetuum mobile genannt. Die gleiche Idee war auch schon von Becher ausgegangen (Lichtenberg, Göttinger gelehrte Anzeigen 1775 p. 97). Magellan spricht auch vom Barometer von Coxe, allein er sagt, dass die Röhre und das Gefäss zugleich beweglich waren.

In den Abhandlungen der Dubliner Academie (mai 1791, t. IV, art. 8, p. 141) findet man die Beschreibung eines Registrirbarometers von Arthur M'Gwire (oder Maguire) mit einer Figur, die wir durch Figur 3 wiedergeben. Die Barometerröhre wird durch ein kreisförmiges




Figur 3. Barograph von Maguire (1791).

Holzstück im Gefäss schwimmend erhalten, sie wird durch einen Ring geführt, der in der Figur in der Mitte der Röhre angezeigt ist; sie trägt einen Bleistift und einen Vernier, der sich an einer fixen Scala hinbewegt.

Der Bleistift zieht eine Curve auf einem Tableau, das von links nach rechts in Stunden, von unten nach oben in Zolle getheilt ist, wobei die mittlere Linie 29 Zollen entspricht. Maguire sagt, dass die Scala die vergrösserten Barometervariationen darstellt und dass man sie noch weiter vergrössern kann, wenn man den Querschnitt der Kammer erweitert (by increasing the diameter of the cylinder of the barometer). Er gibt eine Theorie des Apparates, welche sehr unklar ist, und ich zweifle, ob dieses Barometer je ausgeführt worden ist, denn es erfüllt nicht die zur Stabilität des Gleichgewichtes erforderlichen Bedingungen.

Es ergibt sich aus diesen Citaten, dass man am Ende des vorigen Jahrhunderts vier Formen des statischen Barometers kannte: das Schnellwagebarometer von Morland, das an einer gewöhnlichen Wage aufgehängte Barometer von Magellan, das schwimmende Barometer von Maguire und das Barometer mit beweglichem Gefässe von Coxe. Magellan und Maguire schlagen Röhren mit doppeltem Querschnitte vor, d. h. solche, die oben ausgebaucht sind; es ist jedoch nicht wahrscheinlich, dass sie Versuche mit dieser Form gemacht haben, denn sie hätten sogleich bemerkt, dass bei dieser Art von Röhren das Gleichgewicht unter den von ihnen angenommenen Aufhängungsweisen nicht mehr stabil ist.

In dem Dizionario tecnologico (Venedig 1831, t. II, p. 376) gibt Minotto eine detaillirte Beschreibung eines Barometers, welches gleichfalls auf demselben Principe beruht; nur lässt Minotto die Röhre oben in eine cylindrische Kammer oder Ausbauchung und unten in eine Glocke von gleichem Durchmesser endigen. Die Röhre hängt an einer Schnur, die sich auf eine Rolle aufwickelt; das Gegengewicht an einer Schnur, die sich um eine, auf derselben Axe sitzende Schnecke schlingt; es wirkt also an einem veränderlichen Hebelarm. Minotto behauptet, dies Barometer sei von der Temperatur unabhängig. Von diesem Barometer unterscheidet sich das Baroscop von Caswell, wovon man bei Desaguliers eine Zeichnung findet, durch eine wesentliche Eigenthümlichkeit; die obere Kammer ist nämlich mit Luft gefüllt, anstatt wie beim eigentlichen Barometer luftleer zu sein. Dieses Instrument ist beschrieben in dem Nuovo Dizionario tecnologico (t. XVI, p. 254 und t. XXVII, p. 82), wo Minotto die Vervollkommnungen angibt, deren es fähig ist; es wurde wieder an's Licht gezogen im Jahre 1839 von Cooper unter dem Namen „Hydropneumatischer Barometer."

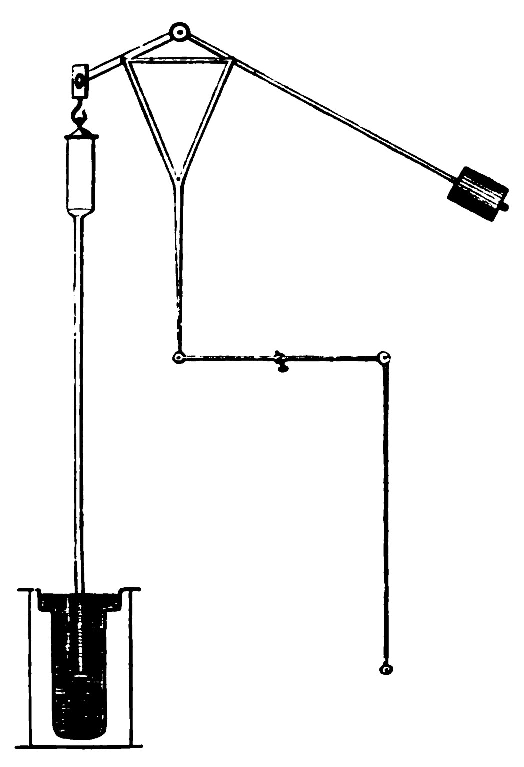
Das Barometer von Angelo Bertoni[1]) unterscheidet sich davon nur dadurch, dass er das Quecksilber durch Wasser ersetzte.

Im Monat Januar 1857 macht P. Secchi sein Wagbarometer bekannt, das er als etwas Neues für sich beanspruchte. In der ersten Beschreibung (Album XXIII, 48, Rom 1857) sagt er, dass es eine einfache Barometerröhre von 15$^{mm}$ Durchmesser ist, welche am Ende einer Schnellwage aufgehängt ist, an der sich ein langer Zeiger befindet, welcher einen getheilten Gradbogen durchläuft; es ist dies Wort für Wort das Barometer von Morland. Von den Vortheilen dieser Construction gibt P. Secchi die folgenden an. Die Röhre kann von Eisen sein; da der Druck nicht gemessen, sondern gewogen wird, so ist das Wagbarometer unabhängig von den störenden Ursachen, welche auf das gewöhnliche Barometer Einfluss haben, nämlich Adhäsion der Menisken, Correctionen, welche die Temperatur und die Veränderungen der Schwere erforderlich machen, etc. Man wird aus dem unten folgenden sehen, dass dies Illusionen waren. In einem Postscriptum sagt er, dass er versucht hat, an die Röhre von 15$^{mm}$ eine bauchige Kammer mit einem Caliber von 60$^{mm}$ anzufügen; dass die auf solche Weise construirten Röhren wenig statische Stabilität besitzen und dass er nach verschiedenen Versuchen die folgende Aufhängungsweise adoptirt habe: Die Röhre ist am kurzen Arm einer Schnellwage befestigt, deren langer Arm um 45$^0$ geneigt ist, während der andere horizontal steht. Am 1. Februar 1857 präsentirte P. Secchi der Academia dei Nuovi Lincei eine Abhandlung[2]), in welcher er sein Barometer, oder vielmehr seinen Barographen mit mehr Details beschreibt. Er geht auch auf einige theoretische Betrachtungen über das Wägebarometer ein, und hebt namentlich hervor, dass die Angaben dieses Instrumentes dem Drucke nicht proportional sind, indem Vergleichungen mit einem Normalbarometer ergeben haben, dass für

---

1) Descrizione di alcuni nuovi strumenti fisici dell' Universita di Siena, del prof. Pianigiani. Ich gebe diese letzteren Citate nach der Broschüre von P. Filippo Cecchi: Il barometro areometrico a bilancia. Firenze 1862. (N. Cimento, t. XVI). Siehe auch Les Mondes 1863, t. III, p. 116.

2) Atti dell Acad. dei N. L. 1857. — Siehe auch: Nuovo Cimento, 1857, t. V, p. 14 und 367. — Comptes rendus de l'Académie des sciences, XLIV, p. 31. — Cosmos, t. X, p. 58. — Memorie dell' Oss. dell' Coll. Rom., vol. I, 1859. — Descrizione del Meteorografo (Auszug aus dem Bulletino meteorologico vom 30. April 1866). —



Figur 4. Barometer von Secchi (1857).

hohe Drucke die Scala $4^{mm},5$ und für die niederen Drucke $5^{mm},4$ betrug. In der Beschreibung des Meteorographen zu Rom, die im Jahre 1866 veröffentlicht wurde, sagt er gleichfalls, dass die Scala für die Curve bei hohen Drucken viel kleiner sei als bei niedrigen Drucken (p. 8 des Separatabzuges). P. Secchi fügt bei, dass er den P. Jullien gebeten habe zu untersuchen, ob man diesen Missstand nicht durch eine besondere Krümmung der Barometerkammer beseitigen könne und dass ihm dieser wirklich Formeln mitgetheilt habe, welche das angegebene Problem lösen. Er theilt die Lösung des P. Jullien nicht mit; er gibt vielmehr eine sinnlose Formel, auf die er sich noch im Jahre 1866 beruft und welche im Nothfalle, wenn dies nicht eine bekannte Sache wäre, beweisen würde, dass P. Secchi nichts von Mathematik versteht.

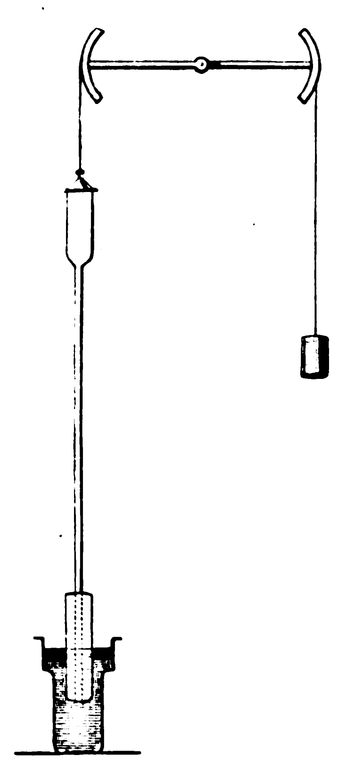
P. Jullien hat seine Formeln in den Annales de Tortolini (Rom, 1861, Nr. 6, p. 337) veröffentlicht. Durch einen glücklichen Zufall habe ich den Titel seiner Abhandlung in den „Berliner Berichten“

gefunden und der ausnehmenden Zuvorkommenheit des Hrn. Chasles verdanke ich es, dass ich davon habe Kenntniss nehmen können, denn die Annales des mathématiques de Tortolini sind weder in der kaiserlichen Bibliothek noch in der des Institut über das Jahr 1857 hinaus. Die Formeln von Jullien sind leider falsch.

Die Abhandlung von P. Secchi, in den Atti, ist von einer Note begleitet, welche eine Prioritätsreclamation von Amici zu Gunsten Minotto's enthält; es war diese Reclamation bereits in der officiellen Zeitung von Verona (Nr. 30, 1857) gedruckt. Forbes erneuerte diese Reclamation am 2. März 1857 zu Gunsten von Morland und Magellan. Daraus ergibt sich, dass seit 1857 P. Secchi die Rechte der „Alten", wie er sie nennt, kannte oder wenigstens mit etwas gutem Willen kennen konnte. Nichtsdestoweniger begnügte er sich stets mit vagen Andeutungen über diesen Punct, als: indem man in alten Papieren blätterte, habe man Projecte zum Wagbarometer entdeckt, Projecte, die bei der Ausführung auf unübersteigliche Hindernisse führten etc. Man sieht, dass nichts mehr der Wahrheit zuwider ist.

Das Wagbarometer des P. Secchi wurde im Jesuitencollegium zu Rom aufgestellt. Bald darauf schlug Armellini, der dasselbe functionniren sah, vor, die Wage zu beseitigen und die Röhre in der Flüssigkeit schwimmend zu erhalten, wie dies schon Caswell, Cooper und Bertoni gethan hatten. Im Jahre 1862 kam Armellini zum Quecksilber zurück und liess sein multiplicirendes hydrargyrostatisches Barometer construiren.[1]) Armellini wandte zu diesem Behufe einen hölzernen Mantel an, welcher den ganzen eingesenkten Theil der Röhre umhüllt, und stellte so stabiles Gleichgewicht her, während der Mantel von Maguire dies nicht erreichen liess. Es muss übrigens erwähnt werden, dass seit dem Jahre 1860 die P. P. Cecchi und Antonelli in der Loggia dell' Orgagna (auch dei Lanzi genannt) zu Florenz ein statisches Barometer aufgestellt hatten,

1) Im Cosmos vom 18. Juli 1862 (t. II, p. 66) habe ich schon in einigen Zügen die Theorie dieses Apparates gegeben und gezeigt, dass das äussere Niveau sich nicht ändern dürfe, eine Eigenthümlichkeit, welche Armellini damals bestritt. Später kam Antonelli zu dem gleichen Resultat; er citirt meine Formeln, allein nach der Correspondenza scientifica in Roma vom 26. September 1862, wo sie unglücklicherweise durch Druckfehler entstellt waren. Man findet sie genau wiedergegeben in les Mondes (1863, t. III, p. 116).



Figur 5. Barometer von Cecchi und Antonelli (1860).

welches wie das von Magellan aufgehängt, aber mit einer weiten Kammer und einem noch grösseren Mantel als die Kammer versehen war, eine zur Stabilität des verticalen Gleichgewichts nothwendige Bedingung, wenn man diese Aufhängungsweise anwendet. Um dieselbe Zeit liess Alfred King einen Barographen nach diesem Systeme für das Observatorium zu Liverpool construiren; die Röhre ist an einer Kette aufgehängt, die um eine Rolle gewunden und durch ein Gegengewicht gespannt ist.[1]) Wild hat das Barometer von Secchi für den Meteorographen von Bern adoptirt. Das Barometer des Meteorographen, welchen Secchi zu Paris ausgestellt hatte, ist mit einem Mantel versehen und am Ende eines horizontalen gleicharmigen Wagbalkens aufgehängt; das andere Ende trägt ein Gegengewicht. Um die seitlichen Abweichungen zu verhindern, führt King die Röhre seines Barometers durch

1) Report of the astronomer to the marine Comittee, Liverpool, april 1863. — Carl's Repertorium, 1866, t. I, Nr. 5 und 6, p. 294.

Frictionsrollen, P. Secchi führt die seinige durch eine horizontale Gelenkstange, welche mit dem Wagbalken ein Parallelegramm bildet.

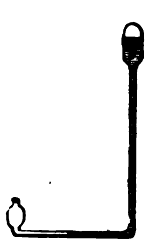
In der neuesten Zeit hat Vidi ein Barometer von ganz eigenthümlicher Form vorgeschlagen, welches gleichfalls auf demselben Principe beruht. Die Röhre ist fest, das Gefäss beweglich, allein anstatt von einer Wage gehalten zu werden, wie bei dem Barometer von Coxe, schwimmt es frei in der Röhre. Das Gefäss trägt nämlich in seiner Mitte eine oben geschlossene, unten offene Röhre, welche in die Barometerröhre hinaufgeht; diese Art hohler Stange schwimmt in der oberen Säule und trägt das Gefäss, welches so in der Luft durch den von unten nach oben wirkenden atmosphärischen Druck aufgehängt ist. Vidi bringt also in eine an einer Unterlage befestigte Glocke eine andere kleinere Glocke, deren Rand so umgestülpt ist, dass er einen ringförmigen Trog um den Rand der festen Glocke bildet; in diesen Trog giesst er Wasser, das er in der festen Glocke dadurch emporsteigen lässt, dass er die Luft aus dieser an einem Hahne auspumpt. Sind die Dimensionen der Glocken richtig bestimmt, so sieht man die innere Glocke unter der Flüssigkeit sich schwimmend erhalten (Les Mondes, t. III, p. 25 und 99).

Die Ursache, warum ich hier diese historischen Data zusammengestellt habe, liegt darin, dass das hydrostatische oder Wag-Barometer Veranlassung zu Prioritätsstreitigkeiten gegeben hat, bei welchen die wissenschaftliche Ehrlichkeit nicht eben glänzend hervortritt. Es erübrigt noch das Princip des Apparates näher zu beleuchten. Wenn man die Torricelli'sche Barometerröhre in das Gefäss eintaucht, so kann man sie mehr oder weniger tief einsenken, ohne dass sich die Differenz des inneren oder äusseren Quecksilberniveau's ändert; die Röhre gleitet an der Quecksilbersäule gleichsam wie an einem festen Stift hin. Allein sie befindet sich dabei nur in einer einzigen Position im Gleichgewichte; fährt man fort einzusenken, so sucht sie emporzusteigen, hat man sie zu wenig eingesenkt, so fällt sie unter der Hand herab. Es ist der Auftrieb der Flüssigkeit, wodurch sie gehoben wird; es ist ihr eigenes Gewicht und das der Atmosphäre, wodurch sie sinkt. Da nämlich die Quecksilbersäule dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, der von unten nach oben auf die Flüssigkeit wirkt, so ist der Druck, der von oben nach unten auf das obere Ende der Röhre wirkt, nicht äquilibrirt und man muss ihn zum

Gewicht der Röhre hinzufügen. Da er aber dem Gewichte der inneren Quecksilbersäule gleich ist, so werden wir am Gleichgewichte des ganzen Systems nichts ändern, wenn wir diese Säule zum Gewichte der Röhre hinzufügen, indem wir dabei im Gegentheil den Luftdruck auf das obere Ende als äquilibrirt durch den Druck annehmen, welcher von unten nach oben wirkt. Dies vereinfacht den Calcul: wir werden nämlich die Röhre mit dem Quecksilber, das sie von der Basis bis zum oberen Ende enthält, als einen schwimmenden Körper ansehen können, um welchen der atmosphärische Druck äquilibrirt ist. Es muss dann das Gesammtgewicht der Röhre mit dem darin enthaltenen Quecksilber gleich sein dem Auftriebe der Flüssigkeit d. h. dem Gewichte des durch den eingesenkten Theil verdrängten Quecksilbers, wobei dieser Theil als ein voller Cylinder betrachtet ist. Es ist dies die Gleichgewichtsgleichung schwimmender Körper.

Ich werde nun vorerst das Gegengewicht der Röhre als unveränderlich voraussetzen; es findet dies statt beim schwimmenden Barometer und bei einem Barometer, das an einer Rolle oder Wage aufgehängt ist, deren Schwerpunct mit dem Angriffspuncte zusammenfällt (Morland). Nimmt nun der Luftdruck zu, so hebt sich die innere Säule über das äussere Niveau, es tritt also Quecksilber in die Röhre. Damit das hydrostatische Gleichgewicht bestehe, muss die Quantität Quecksilber, welche eintritt und sich zum Gewichte des Systemes hinzuaddirt, gleich der Quantität sein, welche durch die volle Basis der Röhre, während sie weiter einsinkt, verdrängt worden ist. Es ergibt sich daraus sofort, dass das äussere Niveau sich nicht verändern kann. Wenn nämlich die Röhre, welche wir immer als einen vollen Cylinder ansehen, sich unter das äussere Niveau einsenkt, so verrückt sie durch ihre Basis eine gewisse Quantität Quecksilber, welche ganz in die Röhre getrieben wird, weil das Gewicht des verdrängten Quecksilbers, um das der Auftrieb zunimmt, immer gleich demjenigen sein muss, welches andrerseits zum Gewichte des schwimmenden Körpers hinzukommen muss, indem es in die Barometerkammer eindringt. Die Quantität Quecksilber, welche ausserhalb des schwimmenden Körpers bleibt, erfährt also keine Veränderung und es folgt daraus, dass sich das äussere Niveau nicht ändert. Würde es sich ändern, so würde eine neue Quantität Quecksilber verdrängt, welche das Gleichgewicht stören würde; es wäre dasselbe, wie wenn der Boden des Gefässes sich heben und senken würde, während das Niveau des

Quecksilberbades immer auf derselben absoluten Höhe im Raume bliebe. Es ist also klar, dass im Gefässe das Niveau immer fix bleiben muss. Die fixe Lage des Niveau's erhält man auch durch ein anderes Mittel bei dem Barometer von Bernoulli, dessen geschlossener Theil Figur 4 eine verticale Röhre bildet, die oben in eine weite Kammer



Figur 6. Barometer von Bernoulli.

endigt, und deren offener Theil eine horizontale Röhre bildet, in welcher das Quecksilber vorwärts oder rückwärts geht, wenn der Druck sich ändert. Dieses Barometer multiplicirt die Variationen des Druckes im Verhältnisse der Caliber der horizontalen Röhre und der oberen Kammer.

Das hydrostatische Barometer ist gleichfalls ein Multiplicator. Da nämlich das Volumen des Quecksilbers, das an der Grundfläche des Apparates bei einer Veränderung des Druckes verdrängt wird, gleich demjenigen ist, welches in die Kammer eintritt, so folgt, dass das Product aus der vollen Grundfläche $B$ in die Zunahme $p$ der Einsenkungstiefe gleich sein muss dem Producte aus dem inneren Querschnitte $C$ der Kammer mit der Grösse $h$, um welche das innere Niveau sich dem oberen Ende der Röhre nähert:

$$B . p = C . h.$$

Wenn die Röhre um $p$ Millimeter in das Quecksilberbad mit unveränderlichem Niveau herabsinkt, und wenn das innere Niveau sich um $h$ Millimeter dem oberen Ende der Röhre nähert, so nimmt offenbar die Distanz dieses Niveaus vom äusseren Niveau nur um die Differenz $h - p$ zu; diese Grösse muss gleich der Zunahme $m$ des Luftdruckes sein:

$$m = h - p.$$

Nun folgt unmittelbar daraus:

$$m = B . \frac{h}{B} - C . \frac{p}{C} = (B - C) . \frac{h}{B} = (B - C) . \frac{p}{C},$$

oder auch[1]):

$$\begin{cases} h = \dfrac{mB}{m - C} = m + p, \\ p = \dfrac{mC}{B - C}. \end{cases}$$

Die Variation $p$ der Einsenkungstiefe wird gegeben sein durch das Sinken des oberen Endes der Röhre, da das äussere Niveau sich nicht ändert; die Variation $h$ des inneren Niveau's, in Bezug auf das obere Ende der Röhre, kann man an einer mit der Röhre verbundenen Scala ablesen, wenn letztere aus Glas besteht. In allen Fällen wird die eine oder andere dieser Grössen um so beträchtlicher sein, je kleiner die Differenz $B - C$ ist. Bei einer gewöhnlichen Barometerröhre wird $B - C$ den ringförmigen Querschnitt der Röhre darstellen. Nehmen wir nun an, das innere Caliber betrage 8 Millimeter und die Dicke des Glases sei gleich 1 Millimeter, so werden sich die Querschnitte $B$ und $C$ wie die Quadrate 100 und 64 verhalten und wir werden haben $h = \frac{25}{9} m$, $p = \frac{16}{9} m$; die Vorrückung des inneren Niveau's wird also fast das Dreifache, die absolute Verrückung der Röhre nach fast das Doppelte der Grösse $m$ sein, welche die Variation des gewöhnlichen Barometers bezeichnet. Modificirt man also die Dimensionen $B$ und $C$, so kann man nach Belieben den Barometercoëfficienten d. h. das Verhältniss bestimmen, um welches es (das Barometer) die Variationen des Luftdruckes vergrössert.

Der innere Querschnitt $B$ wird immer dann grösser sein müssen, als das Caliber $C$ der barometrischen Kammer, wenn man die Aufhängungsweise von Magellan (gerader Wagbalken mit gleichen Armen) oder die von Morland (gerader Wagbalken mit ungleichen Armen) anwenden oder auch wenn man die Röhre durch einen Schwimmer halten will. Denn wenn $B$ kleiner als $C$ wäre, so würde die Differenz $B - C$ und die Abnahme $p$, welche das Gleichgewicht der Röhre

1) Im Cosmos (1862) und in les Mondes (1863) habe ich die letztere Gleichung in einer weniger allgemeinen Form gegeben, indem ich die Querschnitte $B$ und $C$ durch die Quadrate der Radien $R$ und $r$ ersetzte, was kreisförmige Querschnitte voraussetzt. P. Secchi hatte die so modificirte Formel im Jahre 1866 wiedergegeben, was ihn nicht hindert, die neue Formel zu critisiren, indem er zu glauben vorgab, dass $B$ einen ringförmigen Querschnitt darstelle. Ich sage, indem er vorgab, denn er hat seine Kritik im Compte-rendu der Academie drucken lassen, obwohl ich ihm vor dem Drucke des Compte-rendu die Natur seines Irrthums auseinandergesetzt hatte.

wiederherstellt, negativ sein; eine Zunahme des Druckes *m* würde also eine aufsteigende Bewegung der Röhre erfordern, wodurch sie im Gewicht $p$ $(B-C)$ gleich $m$ $C$ verlieren würde. Ein zunehmender Druck treibt aber immer Flüssigkeit in die Röhre, wodurch diese schwerer wird; sie sucht also zu sinken d. h. sich von ihrer neuen Gleichgewichtslage zu entfernen und je mehr sie sinkt, um so schwerer wird sie. Es folgt daraus, dass das Gleichgewicht unstabil wird, wenn $B < C$; es hat dies P. Secchi auch mit Röhren von zweifachem Querschnitte beobachtet. Wenn man diese Röhren anwenden will, so muss man sie durch ein veränderliches Gegengewicht balanciren. Durch diesen Kunstgriff kann man es dahin bringen, dass die Röhre beim Sinken mehr Gewicht verliert als sie gewinnt, dass sie also schliesslich leichter wird, so dass der Druck *m* compensirt und das Gleichgewicht wieder hergestellt wird, wenn die Röhre um eine bestimmte Grösse gesunken ist. Man kann zu diesem Zwecke das Gegengewicht in eine Flüssigkeit tauchen, in welcher es einen veränderlichen Auftrieb erfährt, oder dasselbe mit Minotto an einer Schnecke (oder einem Spiralbogen) aufhängen, oder endlich, mit Secchi, einen Winkelhebel (gebrochenen Wagebalken) anwenden. P. Secchi begeht einen Irrthum im Principe, wenn er die Stabilität seiner Construction der Anwendung ungleicher Arme zuschreibt. Das Barometer von Morland hat auch ungleiche Arme, allein es würde keine Röhre mit ungleichem Querschnitte vertragen; andrerseits würde das Barometer von Magellan, bei welchem die Wage gleicharmig ist, eine Röhre mit doppeltem Querschnitte vollständig vertragen, wenn die Metallkugel, welche das Gegengewicht des verticalen Zeigers bildet, unter dem Aufhängungspunct angebracht wäre.

Wenn man einen gebrochenen Wagbalken anwendet, so erhält man ein stabiles Gleichgewicht, allein man opfert die Proportionalität der Angaben, und es ist dies nicht der einzige Missstand der zu Rom adoptirten Construction. Die Röhren mit gleichförmigem Querschnitte, sowie die Röhren mit weiter Kammer und einem Mantel erfordern diesen Kunstgriff nicht, da bei dieser Art von Röhren, wo $B > C$ ist, das Gleichgewicht wirklich ein stabiles ist. Man kann sie an einem geraden Wagbalken mit gleichen Armen aufhängen, wie dies Magellan, P. Cecchi und P. Secchi auf der Ausstellung gethan haben; man würde daselbst aber wahrscheinlich mit Vortheil einen

geraden Wagbalken mit ungleichen Armen anwenden, weil man dann die Gegengewichte vermindern könnte, was die Wage leichter und beweglicher machen würde. Man könnte auch den gebrochenen Wagbalken und Röhren mit einem Mantel unter Bedingungen combiniren, die ich unten angeben werde.

Kehren wir nun zum statischen Barometer mit unabhängigem Gleichgewichte zurück; ich setze also voraus, dass $B > C$ ist. Wählt man die relativen Dimensionen der beiden Querschnitte in geeigneter Weise, so wird man den Vergrösserungs-Coëfficienten $\frac{B-C}{C}$ einen beliebigen Werth geben können. Für eine Kammer $C$ mit einem Caliber von 30$^{mm}$ und eine Eintauchröhre $B$ mit einem Durchmesser von 31$^{mm}$,5 hätte man $p = 10m$ und $h = 11m$ d. h. die Röhre würde um 10$^{mm}$ sinken und das Quecksilber würde sich im Innern um 11$^{mm}$ heben, wenn der Druck um 1$^{mm}$ zunehmen würde.

Will man nur die Quantität $p$ beobachten, so kann die Röhre von Metall anstatt von Glas sein. Der Mantel, der zur Verstärkung der Eintauchröhre dient, wird aus dem gleichen Materiale bestehen, wenn man sich nicht der Gefahr aussetzen will, dass durch die ungleiche Ausdehnung der Flächen $B$ und $C$ der Coëfficient $\frac{C}{B-C}$ geändert wird. Ein Holzmantel hat übrigens den Nachtheil, dass er durch die hygrometrischen Einflüsse sein Volum ändert, wodurch denn auch der Barometer-Coëfficient von einem Tage zum andern geändert werden muss. Er zerstört überdies die Stabilität des Gleichgewichts im horizontalen Sinne, und verursacht seitliche Ausweichungen, zu deren Vermeidung man Frictionsrollen u. dgl. anwenden muss. Dieser Uebelstand macht sich besonders fühlbar bei dem Armellini'schen Schwimmbarometer, welches deshalb wohl kaum practisch ausführbar sein dürfte. Es bleibt also nur übrig, wenn man $B > C$ nehmen will, eine gewöhnliche Röhre ohne Mantel, oder eine Röhre mit weiter Kammer und schwerem Mantel anzuwenden, und derselbe an einer Rolle oder einem Wagebalken durch ein constantes Gegengewicht zu balanciren. Das obere Ende der Röhre verrückt sich dann um eine $m$ genau proportionale Grösse, und es wird hinreichen, daselbst einen horizontalen Bleistift zu befestigen, um auf einem verticalen Tableau genau den Gang der barometrischen Variationen zu erhalten. Will man, dass die Drehung der Wage gleichfalls $m$ proportional sei,

so muss man eine Kreis-Aufhängung anwenden d. h. man muss die Röhre und das Gegengewicht an Schnüren aufhängen, welche über Kreisbögen weggehen. Magellan wandte zu diesem Zwecke einen geraden Wagbalken mit kreisbogenförmigen Enden an; King gebraucht ein volles Rad. Der Bleistift kann dabei am Ende eines langen Zeigers befestigt werden, der sich mit der Wage dreht; er wird Längen beschreiben, die $m$ proportional sind. King befestigt den Bleistift am Gegengewichte.

Bei dem von Secchi ausgestellten Barographen ist die Röhre am Ende eines geraden Wagbalkens durch eine Aufhängung mittelst Schneide befestigt und die Bewegung des Bleistiftes, der von der Zunge der Wage geführt wird, ist annähernd proportional der Barometervariation. Es seien $a$ und $a'$ zwei aufeinander folgende Neigungen des Hebels und $r$ seine Länge, so hat man

$$p = r \;(\sin a' - \sin a)$$

oder wenn man

$$a' = a + \varrho$$

setzt:

$$p = r \varrho \cos a$$

und

$$\frac{m}{\varrho} = \frac{B-C}{C} r \cos a.$$

P. Secchi lässt den Bleistift durch ein Watt'sches Parallelogramm führen, das aus dem verticalen Zeiger der Wage, aus einer horizontalen und einer verticalen Bläuelstange besteht; die Linie ist dann horizontal und $\varrho$ nahe proportional. Man kann sie auch $m$ proportional nehmen, wenn die Neigung nahe Null ist d. h. wenn der Wagebalken beständig nahe horizontal bleibt.

Die Dimensionen des Apparates unterliegen den folgenden Bedingungen. Es seien $T$ und $F$ Volumen Quecksilber, deren Gewichte denen der Röhre und des Gegengewichts gleichkommen, und von einer Dichte, welche der der angewandten Flüssigkeit gleich ist; es sei $M$ das Volum des Quecksilbers, welches die Röhre einschliesst, $P$ die gesammte Einsenkungstiefe, so haben wir nach den oben festgestellten Principien:

$$T - F + M - BP = O.$$

Ich will noch mit $S$ den Querschnitt des engen Theiles der Röhre, mit $K$ die Länge dieses Theiles oder den Abstand der Basis der Röhre von der weiten Kammer, mit $H$ die Höhe des Quecksilbers in der Kammer, und mit $\beta$ die Höhe des gewöhnlichen Barometers bezeichnen; dann hat man

$$M = S \,.\, K + C \,.\, H$$

$$\beta + P = H + K,$$

und

$$T - F + C\beta = (B - C)\, P + (C - S) \,.\, K.$$

Diese Relation stellt die reciproke Abhängigkeit der Dimensionen der Röhre fest. Sie beweist, dass ein Gegengewicht nothwendig ist, wenn man nicht der Röhre eine übermässige Länge geben will. Das Gegengewicht $F$ denken wir uns immer an dem oberen Ende der Röhre, oder an demselben Hebelarme als $T$ wirkend. Wenn ein Gegengewicht $\Pi$ an einem längeren oder kürzeren Hebelarm wirkt, so muss man dasselbe auf den Hebelarm von $T$ reduciren um $F$ zu erhalten. Das Gegengewicht $F$ wirkt am oberen Ende von unten nach oben; der Druck $BP$ wirkt im Mittelpuncte des Auftriebes, gleichfalls von unten nach oben; das wahre Gewicht der vollen Röhre, $BP + F$ wirkt in ihrem Schwerpuncte. Die Stabilität des horizontalen Gleichgewichtes fordert, dass das Metacentrum (der Punct, wo die Resultante der beiden Kräfte $BP$ und $F$ angreift, wenn die Röhre sich neigt) über dem Schwerpuncte liege. Ein Holzmantel senkt den Schwerpunct nicht hinreichend und die Folge davon ist, dass die Röhre auf die Seite zu gehen strebt. P. Secchi muss aus diesem Grunde die Röhre durch eine horizontale, mit einem Gelenke versehene Leit- oder Bläuelstange festhalten. P. Cecchi hat diesen Missstand durch einen hohlen Mantel zu beseitigen gesucht, in welchen er Quecksilber giesst; Minotto lässt zu diesem Zwecke die Röhre in eine Glocke ausgehen, was dasselbe ist als hätte sie einen Mantel von Quecksilber.

Wir wollen nun die bewegende Kraft suchen, welche die Röhre hebt oder senkt. Wenn das effective Gewicht $T$ um eine Grösse $\pi$ zunimmt, so sinkt die Röhre um $p$ Millimeter, die Flüssigkeit steigt im Innern um eine Grösse $h = p$ und es folgt daraus ein Gewichtsverlust gleich $(B - C)\, p$; das Gleichgewicht wird dann wiederhergestellt sein, wenn $p$ gleich $\frac{\pi}{B - C}$ und der Gewichtsverlust gleich $\pi$ geworden sein wird (wäre die Differenz $B - C$ negativ, so würde $p$ eine Ver-

rückung von unten nach oben repräsentiren und das einmal gestörte Gleichgewicht könnte sich nicht wieder herstellen, es wäre unstabil). Das Gewicht $\pi$ erzeugt ausserdem im Gefässe eine Niveauerhebung $n$, welche ein Flüssigkeitsvolumen $E.n$ aus der Röhre austreten lässt, wenn $E$ die ganze Oberfläche des Quecksilberbades, sammt dem darin von der Röhre eingenommenen Platz bezeichnet; man sieht leicht, dass

$$En = (B-C)\,p = \pi.$$

Das obere Ende der Röhre sinkt um eine Grösse

$$p-n = \pi\left(\frac{1}{B-C}-\frac{1}{E}\right) = \frac{\pi}{B-C}\cdot\frac{E-B+C}{E}$$

eine Grösse, die dasselbe Zeichen wie $p$ hat. Ein Druck $m$ und ein Gegengewicht $\pi$ bringen also zusammen eine Gesammteinsenkung hervor

$$\frac{mC}{B-C}-\frac{\pi}{B-C}\cdot\frac{E-B+C}{E}.$$

Soll die Röhre unbeweglich bleiben, so muss dieser Ausdruck Null sein, oder

$$\pi = \frac{mCE}{E-B+C};$$

es ist dies das Gegengewicht, welches die Wirkung eines Luftdruckes $m$ neutralisirt, oder die Kraft, welche dieser Druck auf das obere Ende der Röhre ausübt.

Um sie in Grammen auszudrücken, muss man noch den obigen Ausdruck mit dem specifischen Gewichte des Quecksilbers multipliciren, welches gleich $1^{\mathrm{gr}},36$ ist, wenn man $m$ in Millimeter und die Flächen $B$, $C$, $E$ in Quadratcentimetern gegeben annimmt. Es folgt daraus, dass das Gewicht

$$\pi_0 = 1^{\mathrm{gr}},36\,\frac{CE}{E-B+C} = \frac{1^{\mathrm{gr}},36\,.\,C}{1-\dfrac{B-C}{E}}$$

die bewegende Kraft darstellt, welche einem Drucke von $1^{\mathrm{mm}}$ entspricht. Es ist dies auch die Tara, welche $1^{\mathrm{mm}}$ Druck äquilibrirt, wenn man die Atmosphäre mit Hilfe eines Wagbarometers wägen will. Um eine grosse bewegende Kraft zu erhalten, wird man die Kammer $C$ so weit als möglich machen müssen; allerdings nimmt damit auch gleichzeitig die zu bewegende Masse zu. Man wird die bewegende

Kraft auch vergrössern können, wenn man die Oeffnung des Gefässes verkleinert, wodurch also die Fläche $E$ vermindert wird ($\pi_0$ wächst nur mit $E$, wenn die Differenz $B - C$ negativ ist).

Beschäftigen wir uns nun mit dem Barometer mit gebrochenem Wagbalken. Ich nehme an, dass die Röhre am Arme $r$ und das Gegengewicht $\Pi$ am Arme $R$ aufgehängt ist, der mit dem ersteren einen Winkel $c$ einschliesst. Der Arm $r$ hat eine Neigung $a$, und wenn er sich um einen Winkel $\varrho$ dreht, so sinkt das obere Ende der Röhre um eine Grösse $r\varrho \cos a$.

Es sei $\mu$ das Product aus dem Gesammtgewichte der Wage in die Distanz ihres Schwerpunctes vom Aufhängungspuncte (dieses Product ändert sich mit der Neigung des Wagbalkens). Die Rotation $\varrho$ wird das Moment $\mu\varrho$ liefern, welche die Wirkung eines Gewichtes $\frac{\mu\varrho}{r \cos a}$ erzeugen wird, das von unten nach oben am Ende des Hebels $r \cos a$ oder, was dasselbe ist, am oberen Ende der Röhre wirkt. Ein beliebiges Gewicht $\pi$ erzeugt also am oberen Ende der Röhre die gleiche Wirkung wie ein atmosphärischer Druck $\frac{\pi}{\pi_0}$; es folgt daraus, dass es, um das Drehungsmoment $\mu\varrho$ in Rechnung zu bringen, genügen wird, vom Drucke $m$ die Grösse $\frac{\mu\varrho}{\pi_0 r \cos a}$ abzuziehen.

Multiplicirt man diesen reducirten Druck mit $\frac{C}{B-C}$ so muss man das beobachtete Einsinken des oberen Endes der Röhre erhalten, welches auch durch $r\varrho \cos a$ ausgedrückt wird; man hat also:

$$\frac{m}{\varrho} = \frac{B-C}{C} r \cos a + \frac{\mu}{\pi_0 r \cos a}.$$

Wenn man annehmen kann, dass das Gesammtgewicht der Wage in zwei Puncten vereinigt ist, die an den Enden der Arme $r$, $R$ liegen, so findet man

$$\mu = \Pi R \frac{\sin c}{\cos a}$$

und daraus

$$\frac{m}{\varrho} = \frac{B-C}{C} r \cos a + \left(1 - \frac{B-C}{E}\right) \cdot \frac{W}{C \cos^2 a},$$

wo durch $W$ das Volum $\frac{\Pi . R \sin c}{1{,}36\, r}$ bezeichnet ist. Man sieht, dass

das Verhältniss der Drehung $\varrho$ zur Variation $m$ keineswegs constant ist; um es möglichst wenig veränderlich zu machen, muss man den Arm $r$ in einer möglichst horizontalen Lage ($\cos a = 1$) festhalten. Man würde immerhin ein Mittel haben, eine zu $m$ proportionale Drehung $\varrho$ zu erhalten; es bestände darin, sei es eine Kammer $C$ oder einen Mantel $B$ mit veränderlichem Querschnitte anzuwenden, der durch die Bedingung, dass $m = A\varrho$, bestimmt wäre. Sie führt zu der Relation[1]:

$$W\left(1 - \frac{B-C}{E}\right) - A \,.\, C \cos^2 a + (B-C)\, r \cos^3 a = 0,$$

welche $B$ oder $C$ als Function von $a$ bestimmen lässt. Um mit Hilfe dieser Formel den verticalen Durchschnitt der Kammer oder des Mantels construiren zu können, muss man noch die verticalen Coordinaten, welche den Querschnitten $C$ und $B$ entsprechen, nämlich $h$ und $p$, in Functionen von $a$ ausdrücken.

Man sieht leicht, dass das äussere Niveau sich um eine Grösse $n$ senkt, so dass

$$E n = \frac{\mu \varrho}{1{,}36 \,.\, r \cos a} = \frac{W \varrho}{\cos^2 a}.$$

Wenn die Drehung $\varrho = a - a_0$ ein wenig beträchtlich ist, so muss man hier $\frac{\varrho}{\cos^2 a}$ durch die Differenz $tg\, a - tg\, a_0$ ersetzen, wodurch

$$n = \frac{W}{E}\,(tg\, a - tg\, a_0)$$

wird. Man hat dann $p + n = r \cos a \,.\, \varrho = r\,(\sin a - \sin a_0)$ und $h = p + A\varrho = p + A\,(a - a_0)$, wobei man $a$ in Theilen des Radius ausgedrückt annimmt. Für eine mittlere Neigung Null, $a_0 = 0$, hätte man $h = p + Aa$ und

$$p = r \sin a - \frac{W}{E}\, tg\, a;$$

$p$ ist hier die Höhe des Abgleichungs-Querschnittes $B$ (section d'affleurement) über dem Querschnitte $B_0$, wo das äussere Niveau sich abgleicht,

---

1) P. Jullien hat schon die Krümmung gesucht, welche er der Kammer $C$ geben müsste, um eine proportionale Drehung zu erhalten. Die obige Formel würde sich auf die Form, zu der er auf einem anderen Wege gekommen ist, bringen lassen, wenn er nicht zwei Fehler begangen hätte, den einen im Zeichen der totalen Einsenkung $r \cos a . \varrho$, den anderen im Werth der Niveauänderung $n$.



wenn der Arm $r$ horizontal steht. Die Einheit von $\Pi$ ist das Gramm, die von $B$, $C$, $E$ der Quadratcentimeter, die von $p$, $h$, $r$, $R$, $A$ der Millimeter, $A$ ist der Radius des Kreises, auf welchem $r$ sich um $1^{mm}$ verrückt, wenn der Druck sich um $1^{mm}$ ändert.

Die Bedingungen der Stabilität des verticalen Gleichgewichtes lassen sich aus dem Vorstehenden leicht ableiten. Entsteht ein Druck $m$, so sucht er immer eine Bewegung von oben nach unten hervorzubringen; es muss also das Gleichgewicht durch die Drehung, welche dieser Bewegung entspricht, wiederhergestellt werden können; mit anderen Worten, es muss $\varrho$ dasselbe Zeichen wie $m$ haben oder das Verhältniss $m:\varrho$ muss immer positiv sein. Es wird dies nothwendig stattfinden, wenn $B > C$; in diesem Falle ist das Gleichgewicht immer stabil. Ist $B < C$, so hängt die Stabilität vom Werthe der Constanten $W$ ab; es muss also

$$\left(1+\frac{C-B}{E}\right) W > (C-B)\, r \cos^3 a$$

sein, oder auch, da $\cos a$ gleich der Einheit werden kann

$$\frac{\Pi \,.\, R \sin c}{r^2} > \frac{C-B}{1+\frac{C-B}{E}}\, 1^{gr},36.$$

Diese Formel zeigt, dass man bei Röhren mit doppeltem Querschnitte einen gebrochenen Wagbalken ($c < 180^0$) und ein Gegengewicht von einer bestimmten Grösse anwenden muss. Die Gleichheit oder Ungleichheit der Arme $r$, $R$ hat nichts mit der Stabilität des Gleichgewichtes zu thun, sie hat nur Einfluss auf die Empfindlichkeit der Wage; wirklich sieht man, dass man, wenn man $R$ vergrössert, $\Pi$ kleiner machen kann, wodurch die Wage leichter wird. Es hindert übrigens Nichts, zu demselben Kunstgriff seine Zuflucht zu nehmen, wenn man eine Röhre mit einem Mantel oder einen geraden Wagbalken anwendet.

Ich habe hier angenommen, dass das Drehungsmoment der Wage von dem am Arme $R$ befestigten Gewicht $\Pi$ hervorgebracht wurde und dass das Gewicht des verticalen Zeigers vernachlässigt werden kann. Allein man könnte die Sache auch anders nehmen, nämlich die Röhre durch eine kreisbogenförmige Aufhängung nach Magellan äquilibriren und den Zeiger an seinem untern Ende belasten. Mit dieser einfachen Modification hätte Magellan die Röhre mit doppeltem

Querschnitte, von der er spricht, anwenden können. Es sei $e$ der Ausschlag des Zeigers $L$ gegen die Verticale, $\Pi$ das Gewicht, welches er trägt, so wird man erhalten:

$$\frac{m}{\varrho} = \frac{E + C - B}{EC} \cdot \frac{\Pi L \cdot \cos e}{1{,}36 \cdot r} - \frac{C - B}{C} r,$$

und die Stabilitätsbedingung wird dieselbe wie vorhin sein, wenn man $\cos e$ anstatt $\sin c$ schreibt.

Es sei $s$ die Anzahl Millimeter, um welche sich das Ende des Zeigers verstellt, wenn sich der Druck um $1^{mm}$ ändert, so wird man haben:

$$\frac{C}{s} = \left(1 + \frac{C - E}{E}\right) \frac{\Pi \cos e}{1{,}36 \cdot r} - (C - B) \frac{r}{L},$$

oder auch

$$\frac{1}{s} = \frac{\Pi \cos e}{\pi_0 \cdot r} - \frac{C - B}{C} \cdot \frac{r}{L}.$$

Nimmt man einen hinreichend langen Zeiger, so wird diese Grösse nahe constant.

Nehmen wir $B = 1$, $C = 20$, $E = 100$, so haben wir $\pi_0 = 25$ gr. Setzen wir dann $L = 1$ Meter, $r = 100^m$, $s = 5^{mm}$, so findet man $\Pi = 680$ Gramm; das ist das Gewicht, womit man den Zeiger belasten muss.

Ist das Gefäss beweglich und die Röhre fest, so wird sich das effective Gewicht des Gefässes berechnen, wie wenn es bis zum Niveau der Fläche $E$ voll Quecksilber wäre. Entsteht ein Druck, so macht er es leicht, indem er die Flüssigkeit in die Röhre treibt, und sucht es also zu heben; es muss dann die neue Gleichgewichtslage über der ersteren sich befinden, wenn das Gleichgewicht stabil sein soll. Nehmen wir an, das Quecksilber steige im Innern um $h$, im Aeussern, der Röhre entlang, um $p$ Millimeter, so wird man $h = p + m$ erhalten. Ist das Gefäss im indifferenten Gleichgewichte aufgehängt, so muss sein Gewicht immer das Gleiche bleiben, das äussere Niveau ändert sich nicht, und der Boden wird sich gleichzeitig mit der Fläche $E$ um $p$ Millimeter heben; man hat dann $Bp = Ch$ und $p = \frac{mC}{B - C}$ wie oben, und es wird $B > C$ sein müssen. Im entgegengesetzten Falle $(B < C)$ muss man das Gefäss durch eine Wage halten, welche ein merkliches Drehungsmoment hat und die Formeln werden denen ähnlich, welche sich auf eine bewegliche Röhre beziehen.

Um allen Umständen, welche auf die Resultate dieses noch wenig studirten Messverfahrens Einfluss haben, Rechnung zu tragen, wollen wir noch die Thermometercorrection betrachten, welche dem Barometer mit kreisbogenförmiger Aufhängung zukommt. Wir finden sie auf folgende Weise. Wir haben oben gesehen, dass nach dem Archimedi'-schen Principe, indem wir $T - F = T'$ setzen,

$$T' + M - B.P = 0.$$

Nimmt die Temperatur zu, so dehnt sich das Quecksilber im Verhältnisse von 1 zu $1 + q$ aus. Das unveränderliche Gewicht des Volums $T'$ kann nun durch ein Quecksilbervolum $T'(1 + q)$ dargestellt werden, das die neue Dichtigkeit $1 - q$ besitzt, die der des angewandten Quecksilbers gleich ist. Man kann also sagen, dass $T'$ sich um $qT'$ ausdehnt und dass $qT$ gleich der Zunahme des Rauminhaltes $BP - M$ ist.

Andrerseits ist das Gesammtvolum $Q$ des Quecksilbers gleich dem Volum $V$ des Gefässes, das bis zum Niveau $N$ voll angenommen ist, weniger $BP$ plus $M$ oder auch gleich $V - T'$, da $M - BP = T'$ ist. Es ist also $Q + T' = V$, d. h. das Volumen $V$ ist gleich demjenigen einer constanten Masse, indem ja doch die Gewichte von $Q$, von $T$ und von $F$ unveränderlich bleiben. Es ergibt sich daraus, dass der Zuwachs von $V$ durch $qV$ dargestellt wird. Die Niveauänderung im Gefässe hat also statt wie wenn die Röhre nicht existirte; sie rührt her von der scheinbaren Ausdehnung des Volums $V$. Um den Werth derselben zu finden, muss man in Gedanken die Röhre fortlassen und die Grösse $N' - N$ unter der Voraussetzung suchen, dass das bis zum Niveau $N$ gefüllte Gefäss sich mit dem Quecksilber, das es enthält, ausdehnt. Wir wollen mit $e$ die lineare Ausdehnung, mit $3e$ die cubische Ausdehnung des Materials bezeichnen, woraus das Gefäss besteht. Nehmen wir an, dass das Quecksilber $V$ sich vorerst nur um eine Grösse $3eV$ ausdehnen d. h. in demselben Verhältnisse wie der Rauminhalt, den es bei Null einnimmt. Das Niveau wird sich dann um $Ne$ heben. Dehnt sich nun die Flüssigkeit noch um $(q-3e)V$ aus, so wird der Gesammtzuwachs $qV$ sein und die Grösse $(q - 3e)V$ wird zum Querschnitte $E$ der freien Oberfläche hinzukommen, wo sie das Niveau um eine Grösse $(q - 3e)\frac{V}{E}$ heben wird. Die Grösse $n$, um welche sich das Niveau von einer am Gefässe angebrachten Marke entfernt, ist also

$$n = (q - 3e) \cdot \frac{V}{E},$$

welches auch die Form des Reservoirs sein mag.

Der Rauminhalt $BP - M = BP - CH - SK$, welchen das Volum $T'$ bei Null einschloss, vergrössert sich nun um $qT'$. Sein Zuwachs lässt sich noch in zwei Theile theilen. Der erste, der von der Expansion des Materials der Röhre und des Mantels (welche ich beide von Eisen annehme) herrührt, ist gleich $3eT'$. Der zweite $(q - 3e)T'$ wird durch die Grössen $h$, $p$ erzeugt, deren Längen $H$, $P$ um die Ausdehnungen $eH$, $eP$ zunehmen, oder auch durch die scheinbaren Veränderungen $h$, $p$, die mittelst einer auf der Röhre befindlichen Scala constatirt werden. Es ist also

$$Bp - Ch = (q - 3e)\,T'.$$

Die Differenz $h - p$ ist gleich der scheinbaren Ausdehnung der Barometersäule

$$h - p = (q - e)\,\beta$$

Es folgt also:

$$h = \frac{(q - e)\,B\beta + (q - 3e)\,T'}{B - C}$$

$$p = \frac{(q - e)\,C\beta + (q - 3e)\,T'}{B - C}.$$

Das äussere Niveau steigt so um $p$ Millimeter an der Scala der Röhre, und um $n$ Millimeter an der Scala des Gefässes; der primitive Abgleichungspunct der Scala der Röhre senkt sich also um $p - n$ Millimeter unter die am Gefässe angebrachte Marke. Das obere Ende der Röhre senkt sich um dieselbe Grösse unter eine Marke, welche dessen erste Position an einer mit dem Gefässe verbundenen Scala angibt. Ein Druck $m$ bewirkt ein Steigen desselben um $\frac{mC}{B-C}$ Millimeter; die Gesammteinsenkung, die aus dem Drucke und der Temperatur folgt, ist also:

$$\frac{mC}{B-C} + (q-e)\,\beta\,\frac{C}{B-C} + (q-3e)\left(\frac{T'}{B-C} - \frac{V}{E}\right).$$

Die Temperatur erzeugt also die Wirkung eines Druckes

$$(q - e)\,\beta + (q - 3e)\,\frac{T'}{C} - (q - 3e)\,\frac{V}{E}\,\frac{B-C}{C};$$

dies ist die Correction, welche man für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers vom beobachteten Drucke abziehen muss. Man sieht, dass das erste Glied die Reduction auf Null beim gewöhnlichen Barometer ist. Nimmt man an, das Gefäss und die Röhre bestehe aus Eisen, so hat man

$$q = 0{,}000179;\ e = 0{,}000012;\ q - e = 0{,}000167;\ q - 3e = 0{,}000143.$$

Das Volum $T'$ wird in Cubikcentimetern gefunden, wenn man das in Grammen ausgedrückte Gewicht $T - F$ durch das specifische Gewicht des Quecksilbers, oder durch 13,6 dividirt. Es ist leicht zu sehen, dass die oben gegebene thermometrische Correction ebenso gut für die statischen Barometer von Magellan und Maguire wie für das Wagbarometer von Morland gilt, immer vorausgesetzt, dass die Wage und der Träger des Tableau's mit dem Träger des Gefässes verbunden sind. In der Praxis wird es immer besser sein, diese Correction durch einen directen Versuch zu bestimmen. Sie wird um so kleiner sein, je grösser das Verhältniss des Volumens des Gefässes $V$ zum freien Querschnitt $E$ ist; und man sieht, dass es immer möglich sein wird, die Dimensionen dieses Barometers so zu bestimmen, dass der Einfluss der Temperatur für einen gegebenen mittleren Druck unmerklich wird, man hat also dann ein compensirtes Barometer. Diese Bemerkung ist Antonelli und Cecchi nicht entgangen, allein sie haben sie nicht weiter ergründet. Sie sagen, dass sie ihr Barometer empirisch zu compensiren suchten; allein die beigegebene Figur zeigt, dass die von der Theorie geforderten Bedingungen bei diesem Apparate nicht erfüllt waren.

Damit die Reduction auf Null verschwinde, muss

$$\frac{C}{B - C}\left(\frac{q - e}{q - 3e}\,\beta + \frac{T'}{C}\right)\frac{V}{E}$$

sein. Reducirt man auf Zahlen und nimmt man $\beta = 76^{\text{cm}}$, so findet man:

$$\frac{C}{B - C}\left(89^{\text{cm}} + \frac{T'}{C}\right) = \frac{V}{E}.$$

Man sieht, dass Alles von der scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers im Gefässe abhängt. Es muss diese Ausdehnung sehr beträchtlich sein, um den Einfluss des Gliedes, welches die Ausdehnung der Barometersäule ausdrückt, aufzuheben. Die Oberfläche $E$ des Quecksilberbades muss also so klein als möglich sein, und da sie nicht kleiner

als der Mantel $B$ sein kann, so darf sie wenigstens nicht viel davon abweichen. Man wird demnach dem Volumen $V$ die durch obige Gleichung bestimmte Grösse geben müssen.

Nehmen wir an, dass die Röhre, obwohl durch das Gegengewicht erleichtert, noch 2700 Gramm wiegt; dividirt man nun 2700 durch 13,6, so findet man $T' = 200$ Cubikcentimeter. Nehmen wir $B = 45$, $C = 30$, $S = 3$ Quadratcentimeter, so gibt dies den Vergrösserungscoëfficienten $\frac{C}{B-C} = 2$. Wir werden $\frac{T'}{C} = 6{,}7$ Centimeter erhalten und die Bedingungsgleichung wird:

$$\frac{V}{E} = 1^{m},91.$$

Da wir $B = 45$ genommen haben, so muss man $E$ wenigstens $= 50$ nehmen, was $V = 9{,}5$ Liters gibt; der Apparat würde etwa 130 Kilogramm Quecksilber erfordern. Nehmen wir $C = 14$, $B = 21$, $E = 25$ Quadratcentimeter, so haben wir $V$ etwa $= 5$ Liters, oder dann 70 Kilogramm Quecksilber. Die bewegende Kraft beträgt in beiden Fällen beziehungsweise 58 und 27 Gramme für 1 Millimeter Druck. Würden wir dabei das Gefäss cylindrisch und $V = EN$ annehmen, so fände man beziehungsweise $N = 1^{m},9$ und $2^{m},1$, was eine übermässige Tiefe wäre. Man muss also das Gefäss so construiren, dass das Verhältniss $V : E$ grösser wird, was man erhält, wenn man die Oeffnung enger machte und den Boden erweitert.

Der Barograph von Secchi und der Apparat, welchen Cecchi für die Loggien di Lanzi construiren liess, sind von Eisen, weil die Glasröhren zu zerbrechlich für diesen Gebrauch schienen. Wild wendet dennoch eine Glasröhre mit einem Gefässe von Holz und Glas an, was ihm die Barometersäule zu beobachten gestattet. P. Cecchi schlägt vor, mehrere gewöhnliche Barometerröhren zu einem Bündel zu vereinigen.

Das Gefäss dieses Barometers stellt ein Thermometer dar, denn das Niveau des Quecksilberbades erhebt sich nur durch den Einfluss der Temperatur. Für 1 Grad erhebt es sich um eine Grösse gleich $eN + (q - 3e)\frac{V}{E}$; beim compensirten Barometer würden also mit den oben angenommenen Dimensionen der Länge eines Grades $= 0^{mm},27$. Dies wäre zu wenig und man müsste zu einem Vergrösserungshebel seine Zuflucht nehmen. Aus Allem ist ersichtlich, dass das hydro-

statische Barometer noch nicht sein letztes Wort geredet hat und dass es verdiente noch weiter studirt zu werden.

Für das Baroscop von Caswell, dessen Röhre Luft enthält, würde die Gleichung $T' + M = BP$ noch immer gelten, allein die Höhe der inneren Säule würde $\beta - f$ sein, wobei man mit $f$ die Spannkraft der Luft bezeichnet. Man hätte dann in den Gleichungen $m - df$ an die Stelle von $m$ zu setzen. Es ist also $f = \frac{a}{v}$, wobei man mit $v$ das Volumen der inneren Luft bezeichnet. Folglich

$$df = -\frac{a}{v^2}\,dv = \frac{aC}{v^2}\,h,$$

wenn $v$ um $Ch$ abnimmt. Es ergibt sich hieraus

$$(B - C)\,h - B\left(m - \frac{a}{v^2}\,Ch\right)$$

und

$$h = \frac{mB}{B - C + \frac{a}{v^2}\,BC};$$

$$p = \frac{mC}{B - C + \frac{a}{v^2}\,BC}.$$

Nun ist das Volum $v$ variabel; man sieht also, dass das Baroscop keine constante Scala für die Beobachtung der Variationen $m$ hat. Ausserdem ist es sehr empfindlich für Aenderungen der Temperatur.

Es erübrigt mir noch, von den electrischen Barographen und Thermographen von Jelinek, Regnard, Ch. Montigny, Dahlander, Hipp, Hardy, Hough, Breguet etc. zu sprechen. Jelinek hat im Jahre 1850 drei Systeme von Thermographen veröffentlicht, welche sich von dem Systeme von Wheatstone (1842) durch mehrere wesentliche Puncte unterscheiden. Vorerst stellt Wheatstone den Strom der ganzen Länge der Quecksilbersäule entlang zwischen dem Einsenkungsdrahte und einem anderen Drahte her, der an der Basis der Röhre eingeschmolzen ist; diese Einrichtung, die von P. Secchi nachgeahmt worden ist, hat den Missstand, dass sie eine Erwärmung der Flüssigkeit nach sich zieht. Jelinek verbindet die beiden Drähte, wobei er sie wohl isolirt, und lässt sie zusammen in das Quecksilber eintauchen. Ausserdem dauert das Einsenken nur einen Augenblick

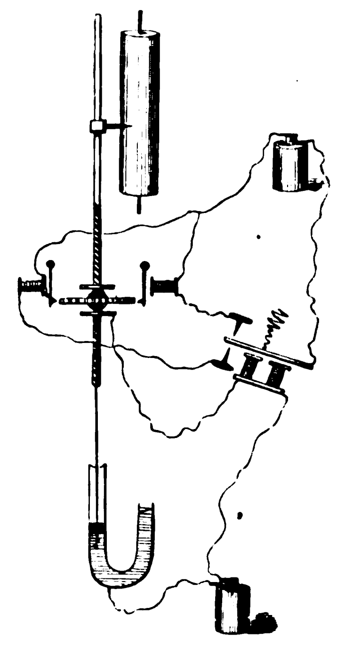
und der Stift macht nur eine einfache Marke, denn der Electromagnet, der ihn an das Papier andrückt, functionnirt gleichzeitig als Unterbrecher; er zieht die Drähte zurück, so dass der Strom aufhört zu circuliren, unmittelbar nachdem die Marke gemacht ist. Das Einsenken der Drähte wird durch eine Uhr erzeugt, welche periodisch auf einen Hebel wirkt, der mit diesen Drähten in Verbindung steht. Die vom Bleistifte am beweglichen Tableau erzeugten Marken zeigen die Temperatur an, wahrscheinlich weil das Tableau an der periodischen Bewegung der Einsenkungsdrähte Theil nimmt; Kuhn, dem ich die Beschreibung der Apparate von Jelinek entnehme, da ich die Sitzungsberichte der Wiener Academie nicht bei der Hand habe, spricht sich über diesen Punct nicht näher aus. Die beiden anderen Systeme von Jelinek unterscheiden sich vom ersten blos durch Modificationen im Detail.[1])

Regnard hat im Anfange des Jahres 1857 ein anderes System angegeben, bei welchem die Electricität angewendet wird, um eine Sonde mit der Quecksilberoberfläche in Contact zu erhalten, so dass ein von dieser Sonde getragener Bleistift allen Schwankungen der Flüssigkeit folgen und dieselben auf einem rotirenden Cylinder aufzeichnen muss.[2]) Regnard erreicht dies durch Anwendung eines Vertheilungsrelais (relais distributeur), welches auf einen Bewegungsmechanismus der Art einwirkt, dass ein Schliessen des Stromes die Sonde hebt und eine Unterbrechung dieselbe senkt. Wenn also das Quecksilber steigt und den Strom schliesst, so schiebt es die Spitze der Sonde weiter, während diese ihm beim Sinken folgt.

Die Sonde steht mit einer verticalen Schraube ohne Ende in Verbindung, die durch ein horizontales, an der Peripherie mit einer Schraubenmutter versehenes Rad (roue écrou horizontale) geführt wird, welches ein Bewegungsmechanismus von rechts nach links oder von links nach rechts in Drehung versetzt, je nachdem es das Relais mit dem einen oder andern von zwei Sperrkegeln in Verbindung bringt. Fällt die Flüssigkeit, so verlässt sie den Draht der Sonde und der Strom des Relais wird unterbrochen; dann setzt ein mit einer Hilfsbatterie versehener Electromagnet das Schraubenrad (roue-écrou) mit dem Sperrkegel in Verbindung, der es in eine solche Drehung versetzt, dass die Sonde und der Bleistift sinken. Steigt dagegen die

1) Handbuch der angewandten Electricitätslehre von Carl Kuhn. Leipzig 1866.
2) Revue des applications de l'électricité, par M. du Moncel. Paris 1859.

Flüssigkeit, so wird der Strom des Relais wieder geschlossen und der zweite Sperrkegel an die Stelle des ersten gebracht, so dass sich das Schraubenrad in entgegengesetzter Richtung drehen muss und der Bleistift mit der Sonde steigt. Die Vertauschung der beiden Sperrkegel kann auf mehrere verschiedene Weisen bewerkstelligt werden,

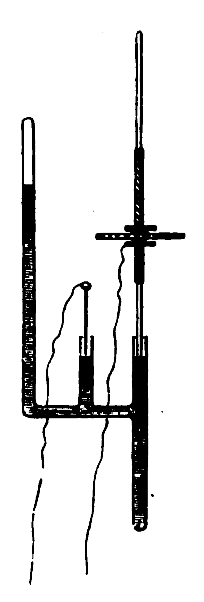


Figur 7. Thermograph von Regnard.

einmal mittelst einer Feder, welche den ersten Sperrkegel entfernt, und den zweiten nähert, während der Electromagnet zu wirken aufhört — in diesem Falle besteht die Wirkung des Relais darin den Hilfsstrom zu unterbrechen —, dann dadurch, dass der Strom auf einen zweiten Electromagneten übertragen wird, der auf den zweiten Sperrkegel einwirkt — in diesem Falle ist das Relais von doppelter Wirkung. Was den Bewegungsmechanismus betrifft, welcher die Sperrkegel am Schraubenrade wirken lässt, so kann man dazu eine Uhr anwenden, welche den Cylinder in Drehung versetzt, oder einen Rheotomen mit Balancier (es ist dies ein von Regnard erdachter Interruptor, der wie der Neef'sche Hammer functionnirt).

Diese verschiedenen Anordnungen wendet Regnard für die Thermographen an; für den Barographen hat er ein anderes System

ausgedacht. Hier ist die Sonde unbeweglich und das Quecksilberniveau wird in Contact mit der Spitze erhalten durch Zufügen oder Wegnehmen von Quecksilber, je nachdem es zu sinken oder zu steigen strebt. Diese Wirkung erhält Regnard auf folgende Weise. Die Platinspitze läuft in das untere Niveau eines Heberbarometers aus. Das Spiel des Relais ist dasselbe wie vorhin. Die Schraube ohne Ende steigt noch, wenn das Quecksilber die Spitze der Sonde bedeckt, und sie sinkt, wenn das Quecksilber diese Spitze verlässt; allein die Schraube ist unabhängig von der Spitze und anstatt auf diese letztere zu wirken, wirkt sie auf einen Kolben, welcher in ein Ergänzungsreservoir eintaucht, das in Verbindung mit dem kurzen Schenkel des Barometers steht. Sinkt der Kolben, so drückt er eine bestimmte Quantität Quecksilber fort und das Niveau steigt bis zur Spitze; wird der Kolben gehoben, so fliesst das Quecksilber in das Reservoir und das Niveau sinkt. Das innere Niveau kann sich auf diese Weise nicht ändern ohne eine Bewegung des Kolbens zu erzeugen, welche es sogleich auf den Ausgangspunct zurückführt.



Figur 8. Barograph von Regnard.

Es ist klar, dass die Quantität Quecksilbers, welche zum oberen Niveau hinzukommt, wenn der Druck sich ändert, gleich derjenigen ist, welche vom Kolben verschoben wurde, woraus folgt, dass die Be-

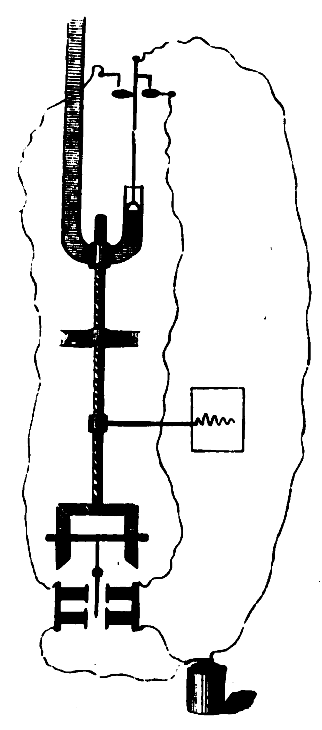
wegungen dieses letzteren immer proportional den Variationen des Barometers sein werden. Nennen wir $B$ den Querschnitt des Kolbens und $C$ den der Röhre, $p$ die Grösse, um welche der Kolben sinkt, und $m$ die Aenderung des Druckes, so haben wir $Bp = Cm$ oder auch $p = \frac{C}{B} m$. Es wird also $p$ die Variation $m$ vergrössert darstellen, wenn $B$ kleiner als $C$ ist. Man sieht, dass eine frappante Analogie zwischen diesem Barometer und dem statischen Barometer stattfindet; in beiden werden die Variationen des Druckes durch die Bewegungen einer Stange übertragen, welche sie vergrössert; in beiden bleibt das äussere Niveau fix; endlich kann das Regnard'sche Barometer, wie das statische Barometer, von der Reduction auf den Nullpunct der Temperatur befreit werden. Es genügt zu diesem Behufe, dass die scheinbare Ausdehnung des gesammten Quecksilbervolums der wahren Ausdehnung der Barometersäule gleich sei; der Volumsüberschuss, welcher aus der Ausdehnung resultirt, kommt dann ganz zum oberen Niveau hinzu, und das untere Niveau wird nicht durch die Temperaturänderungen afficirt. Man erfüllt diese Bedingung bei allen Heberbarometern, wenn man das ganze Quecksilbervolum gleich $\frac{q\beta C}{q - 3e}$ macht, wo $\beta$ die mittlere Höhe des Barometers ist, $q = 0{,}000180$ und $q - 3e = 0{,}000155$ für Quecksilber und Glas beträgt. Um den Einfluss der Temperatur auf das untere Niveau eines Heberbarometers zu compensiren, muss man also in dieses Barometer ein Quecksilbervolum gleich $1{,}16\,\beta C$ giessen; für einen mittleren Druck von 76 Centimetern hätte man $1{,}16\beta = 88$ Centimeter, das nothwendige Volum wäre also das einer Säule von 88 Centimeter, die zur Basis den Querschnitt $C$ der Barometerkammer hätte. Ich werde auf diesen Gegenstand beim Hough'schen Barometer zurückkommen.

Regnard hat auch gesucht, sein Registrirungssystem auf einen Hygrographen anzuwenden, indem er den horizontalen Zeiger eines Hygrometers über dem von den beiden electromagnetischen Sperrkegeln geführten Rade aufhängte. Dieses Rad steht nicht mehr mit einer Schraube ohne Ende in Verbindung, sondern greift nur in eine gezahnte Stange ein, welche den Bleistift, der die Curven zieht, trägt. Der Zeiger des Hygrometers oscillirt parallel zur Ebene des Rades zwischen zwei Knöpfen, welche mit den beiden Sperrkegeln electrisch verbunden sind. Wenn der Zeiger den einen dieser Knöpfe berührt,

so schliesst er den Strom des einen der beiden Sperrkegel und der Bewegungsmechanismus versetzt dann das Rad nach der Richtung der Bewegung des Zeigers in Drehung. Es reicht so der schwache Antrieb, welchen das hygrometrische Haar dem Zeiger ertheilt, hin, um einen Registrirapparat in Gang zu setzen. Man könnte dasselbe Princip zur Registrirung aller kreisförmigen Bewegungen anwenden, wobei die bewegende Kraft sehr schwach ist; allein dasselbe für die Windfahne in Anwendung zu bringen, wäre ein Unsinn, wie dies schon du Moncel hervorgehoben hat.

Bei den Registrirapparaten, deren Beschreibung Montigny im December 1857 veröffentlicht hat und die eine frappante Aehnlichkeit mit denen von Regnard haben, wird das obere Ende der Quecksilbersäule constant an einer fixen Marke durch die Verstellung gehalten, welche eine Micrometerschraube dem ganzen Instrumente ertheilt; die Schraube wird hin und her geführt, je nachdem der Strom im einen oder anderen der beiden Electromagnete circulirt, welche auf den Bewegungsmechanismus einwirken. Dieses Princip wurde von du Moncel schon im Jahre 1856 angegeben (Exposé des applications de l'electricité II, p. 407) und man kann nur über die Sicherheit staunen, womit Montigny seine Apparate im Jahre 1857 der Brüsseler Academie vorgezeigt hat, ohne ein Wort von dem vernehmen zu lassen, was vor ihm gemacht war. Es ist dies ein in Belgien und Rom sehr gangbares Verfahren.

Montigny hat übrigens die Constructionsdetails modificirt. So dreht sich bei ihm die Schraube ohne Ende in einem Lager ohne fortzurücken; sie fügt sich in zwei Schraubenmuttern ein, deren eine an der Röhre eines Heberbarometers, die andere am Bleistifte befestigt ist, und endigt in ein gezahntes Rad, in welches abwechselnd zwei Winkelräder eingreifen, die in Verbindung mit zwei Electromagneten gesetzt sind. Circulirt der Strom an der ersten Rolle, so greift das rechte Rad ein, die Schraube dreht sich von rechts nach links, die Röhre steigt, der Bleistift sinkt; wird der Strom in der zweiten Rolle hergestellt, so greift das linke Rad ein, und alle Bewegungen finden in entgegengesetzter Richtung statt. Eine einzige Batterie reicht aus, um das Spiel dieses doppelten Mechanismus zu unterhalten. Die beiden Rollen stehen stets mit dem positiven Pole und abwechselnd mit dem negativen Pole in Verbindung, je nach den Schwankungen der Stange eines im offenen Schenkel eines Barometers angebrachten



Figur 9. Barograph von Montigny.

Schwimmers. Diese Stange trägt einerseits ein kleines Quecksilbernäpfchen, das unter einer an der Mauer befestigten Contactschraube steht; andrerseits trägt sie eine Contactschraube, die sich über einem an der Mauer befestigten kleinen Quecksilbernäpfchen befindet. Steigt die Stange, so nähert sich die Flüssigkeit des beweglichen Näpfchens der festen Spitze; sinkt sie, so nähert sich die bewegliche Spitze dem festen Näpfchen — es wird also der Strom bald für das eine, bald für das andere der beiden Winkelräder geschlossen, welche die Schraube ohne Ende in Drehung versetzt. Ist der Druck stationär, so ist keiner der Schliessungskreise geschlossen und die Batterie arbeitet nicht.

Bei einem Heberbarometer mit gleichförmigem Caliber ist die Niveauänderung in jedem Schenkel nur die Hälfte der totalen Variation; es folgt daraus, dass die Grösse, um welche die Schraube ohne Ende die Röhre hebt oder senkt, gleichfalls nur die Hälfte dieser Variation darstellt. Allein Montigny wendet eine doppelte Schraube an; der Schraubengang ist in dem Theile, welcher auf den Bleistift einwirkt, doppelt so gross als in dem, der auf die Röhre wirkt, so dass

die Bewegung des Bleistiftes der totalen Variation des Barometers gleich ist.

Für den Thermographen zieht es Montigny vor, die Anwendung des Schwimmers zu vermeiden. Er lässt die positiven Drähte zweier Batterien in die offene Thermometerröhre eintreten; das Ende des einen steht ein wenig tiefer als das des anderen, und das Flüssigkeitsniveau muss zwischen beiden Enden bleiben. Steigt die Temperatur, so gelangt das Quecksilber an das obere Drahtende, der Strom wird zwischen diesem Ende und einem in die Röhrenwand eingeschmolzenen negativen Drahte geschlossen, er circulirt in der ersten Bobine und der Mechanismus wirkt im gewünschten Sinne, um das ganze Thermometer zu senken. Der positive Draht, welcher dem oberen Ende entspricht und im normalen Zustande ausserhalb der Flüssigkeit bleibt, dient dazu, die Erhöhung der Temperatur zu registriren. Der positive Draht der zweiten Batterie, dessen Ende für gewöhnlich in das Quecksilber eintaucht, ist bestimmt, das Sinken der Temperatur zu registriren. Er steht durch die Flüssigkeit hindurch mit dem negativen Drahte derselben Batterie in Verbindung; ausserdem sind die beiden Pole dieser Batterie mit der zweiten Rolle verbunden; so lange die Temperatur stationär bleibt, circulirt der Strom also zugleich in dem Zweige des zweiten Schliessungskreises, welcher durch das Quecksilber des Thermometers eingeschlossen ist, und in demjenigen, der die zweite Bobine in sich einschliesst; allein Montigny nimmt an, dass er in diesem letzteren Zweige zu schwach ist, um, so lange der erste Zweig geschlossen bleibt, den Electromagneten in Wirksamkeit zu versetzen. Es muss das Quecksilber sinken und das Ende des zweiten Drahtes frei machen, wobei es den Strom des ersten Zweiges unterbricht, damit der Strom des zweiten Zweiges die zum Spiele des Electromagneten erforderliche Intensität erlange. Dieser letztere wird also nur functionniren, wenn die Temperatur sinkt. Es ist nicht nöthig beizufügen, dass ein Instrument, das von so vielen Voraussetzungen abhängt, zum practischen Gebrauch durchaus nicht geeignet ist. Es wäre unendlich einfacher gewesen, ein Relais anzuwenden, wie es Regnard thut.

Der Barograph, welchen Hardy im Jahre 1858 für das meteorologische Observatorium der Havanna construirt hat, ist ein gewöhnliches Radbarometer, in welchem ein an einem Drahte befestigter Schwimmer die Axe einer Rolle in Drehung versetzt. Dieser Schwimmer

wird durch einen geraden Aluminiumstab äquilibrirt, der an einem zweiten Drahte hängt, welcher sich auf dem Umfange der Rolle aufrollt; die Bewegungen des Stabes vergrössern also die Schwankungen des Schwimmers. Der Stab ist mit einem Stifte versehen, welcher auf einem Cylinder eine Marke macht, der sich immer dreht, wenn ihn ein Hammer vorwärts treibt; man erhält so nur eine discontinuirliche Curve, allein man vermeidet die Reibung des Stiftes am Papier, welche die schwache, vom Schwimmer mitgetheilte Impulsion neutralisiren könnte. Die Uhr, welche den Cylinder in Drehung versetzt, schliesst alle Minuten die Schliessungskreise zweier Electromagnete, deren erster die Schläge des Hammers auf den geraden Stab erzeugt, während der andere der Barometerröhre kleine Stösse gibt, wie man es immer vor dem Beobachten thut, um das Quecksilber von den Wänden frei zu machen.

Alles dieses liesse sich ebenso gut ohne Zuhilfenahme der Electricität erreichen und man hat dann die Barographen von Wren, Changeux, Blackadder, Kreil, Krecke, Stampfer, Schultze, etc. Bei dem von Changeux trägt die Stange des Schwimmers einfach einen Bleistift, welchen ein mit einem Uhrwerke verbundener Mechanismus in bestimmten Intervallen gegen die Oberfläche eines rotirenden Cylinders stösst. Beim Barographen von Schultze versetzt der Schwimmer ein mit einem Zeiger, an dessen Ende ein Stift befestigt ist, versehenes Rad in Drehung; das Uhrwerk, welches vor diesem Zeiger ein verticales Tableau herabgehen lässt, stösst ihn alle fünf Minuten gegen das Tableau, so dass er daselbst den Barometerstand markirt. Das Rad besteht ausserdem aus zwei Metallen, welche sich ungleich ausdehnen; die Ausdehnung des Rades wird folglich den Zeiger um eine Grösse zurückführen, welche gleich der ist, um die ihn die Dilatation des Quecksilbers vorwärts führt; der Einfluss der Temperatur ist also compensirt. Man kann übrigens Bedenken tragen, ob das Rad immer gleichzeitig mit dem Barometer sich erwärmt und erkältet. J. H. Müller hat gleichfalls eine Vorrichtung erdacht, die zur Correction des Einflusses der Temperatur auf den Barometerstand dient, allein, ich weiss nicht, ob sie Analogie mit der von Schultze angegebenen hat. [1])

1) Gilbert's Annalen IV. 23. Die kaiserliche Bibliothek besitzt diese Sammlung erst vom XXXI. Bande an.

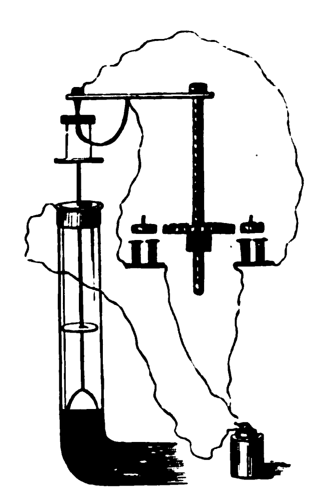
Die Registrirapparate von Hipp (sie wurden im Jahre 1861 für die meteorologische Station in Bern construirt) basiren auf dem Principe des Chronographen von Locke. Ein electrisches Pendel erzeugt in bestimmten Intervallen zwei Marken auf einem Papierstreifen, welcher sich gleichförmig abwickelt; die eine Marke, welche als Ausgangspunct (repère) dient, entspricht dem mittleren Stande des Instrumentes, die andere stellt den veränderlichen Stand desselben dar. Zu diesem Behufe wird die zweite Marke durch einen Stift erzeugt, welcher an einem Indicatorzeiger befestigt ist, und die erste durch eine an einem Rahmen, in welchem sich dieser Zeiger frei bewegt, befestigte Spitze. Wenn der electrische Hammer auf den Rahmen trifft, so stösst er die beiden Bleistifte auf das Papier. Für die Temperatur wendet Hipp ein Metallthermometer von Breguet an; für den Luftdruck gebrauchte er zuerst ein Aneroidbarometer, dasselbe wurde jedoch durch ein Wagbarometer mit Glasröhre ersetzt, dessen Kammer einen innern Durchmesser von 32 Millimeter hat, während der Durchmesser der Röhre 6 Millimeter beträgt; das Gefäss hat eine parallelepipedische Form. Die Temperatur und der Luftdruck werden alle 12 Minuten (fünfmal in der Stunde) registrirt. Ein Anemometer und ein Ombrometer registriren die Winde und den Regen ein Mal im Tage mit Hilfe einer analogen Vorrichtung.

Dahlander hat ein anderes System vorgeschlagen. Er erhält eine discontinuirliche Linie mittelst eines metallenen Kammes, der einem Papier gegenüber aufgestellt ist, wie beim electrochemischen Telegraphen von Bonelli. Die Zähne des Kammes sind isolirt; jeder entspricht einer anderen Angabe des meteorologischen Instrumentes. Wir werden später sehen, dass diese Vorrichtung schon beim Anemometer von du Moncel angewendet wurde und dass die Idee, Bleistifte in eine Reihe zu ordnen und abwechselnd functionniren zu lassen, aus dem vorigen Jahrhunderte datirt.

Es handelt sich also darum, die Zähne des Kammes in electrische Verbindung mit den verschiedenen Puncten der Scala eines meteorologischen Instrumentes zu bringen und die Einrichtung der Art zu treffen, dass der Strom immer vom afficirten Zahne zu dem Theilstriche gehe, wo sich der bewegliche Index befindet. Zu diesem Zwecke vereinigt Dahlander die den Zähnen des Kammes entsprechenden Drähte zu einem hohlen Kabel, welches in die Röhre eines Heberbarometers hineingeht; die freien Enden der Drähte sind schrauben-

förmig angeordnet und das Quecksilber bedeckt sie, während es steigt, der Reihe nach; alle Zähne, welche in Verbindung mit den eingetauchten Drähten stehen, ziehen eine Linie auf dem electrochemischen Papier. Ein anderes von demselben Autor vorgeschlagenes Mittel besteht darin, ein Aneroidbarometer anzuwenden, dessen Zeiger sich auf einer Theilung in Mosaik von Elfenbein und Silber bewegt.

Der Barograph, welchen Hough im Jahre 1863 für das Dudley Observatorium (Albany, Staat New York) construiren liess, gibt zugleich eine continuirliche Curve und einen periodischen Druck in Ziffern. Es ist dies eine denen von Regnard und Montigny analoge Combination, nur hat Hough darin Unrecht, dass er sie als ganz von ihm ausgehend gibt.[1]) Ein am offenen Schenkel eines Heber-



Figur 10. Barograph von Hough.

barometers angebrachter Schwimmer trägt eine Platinplatte, welche immer zwischen den Spitzen von zwei Contactschrauben bleibt, die mit den positiven Drähten zweier Electromagnete verbunden sind; je nachdem der Schwimmer steigt oder sinkt, berührt die Scheibe die obere oder die untere Spitze und der Strom wird in dem einen oder andern der beiden Electromagnete geschlossen. Diese letzteren stehen direct mit dem negativen Pole der Batterie und indirect durch die dazwischen befindliche Platte mit dem positiven Pole in Verbindung.

1) ....... This method of recording meteorological phenomena is new and totally different from any now in use ...... (Annals of the Dudley Observatory, vol. I. — Albany 1866. — p. 93).

Die Verbindung zwischen der Platte und dem positiven Pole der Batterie hat, man weiss nicht recht warum, durch das Quecksilber des Barometers hindurch statt, anstatt dass sie durch einen freien Draht ausserhalb der Röhre, wie bei den Apparaten von Montigny, hergestellt wäre.

Die beiden Electromagnete dienen dazu, zwei Zapfenräder ein- oder auszurücken, welche sich unter dem Einflusse eines Bewegungsmechanismus drehen und welche in entgegengesetzten Richtungen auf ein Schraubenrad einwirken. In das letztere greift eine Schraube ohne Ende ein, welche es hebt oder senkt, je nach der Richtung, in der es sich dreht. Die Schraube wirkt mittelst eines Räderwerkes auf einen Bleistift, welcher die Barometercurve auf einen rotirenden Cylinder zieht, nach der Scala von 3 Millimetern auf 1 Millimeter Luftdruck.

Um den Barometerstand periodisch zu drucken, sind drei Typenräder, die sich auf derselben Axe befinden, combinirt wie das Stunden-, Minuten- und Secundenrad einer Uhr.

Der Umfang eines jeden Rades ist mit zehn Ziffern versehen (gewöhnlichen Typen, welche in Vertiefungen an den Rädern eingelassen sind); das erste macht einen Umlauf, während das Barometer um 1 Zoll steigt, seine Ziffern bezeichnen also Zehntel-Zoll; das zweite und dritte drehen sich beziehungsweise zehn- und hundertmal schneller, ihre Ziffern stellen die Hundertel und Tausendtel eines Zolles dar. Die drei Räder führen also ununterbrochen vor einem zu ihrer Axe parallelen Papierstreifen drei Ziffern vorbei, welche den Barometerstand in Bruchtheilen des Zolles ausdrücken. Der Papierstreifen wird von einem Uhrwerke fortgezogen, das den schon erwähnten Cylinder in Bewegung versetzt, und derselbe Mechanismus hebt einmal in der Stunde einen Hammer, welcher die drei Ziffern auf das Papier druckt.

Das Barometer von Hough ist überdies compensirt. Ich habe schon oben gesagt, dass das innere Niveau eines Heberbarometers von der Temperatur unabhängig wird, wenn die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers, das es enthält, gleich der wahren Ausdehnung der Barometersäule ist, was die Bedingungsgleichung gibt

$$(q-3e)\, M = q\beta C$$

oder

$$M = 1{,}16\beta C,$$



wobei $C$ den Querschnitt der Barometerkammer bezeichnet. Für $\beta = 76^{cm}$ haben wir ohngefähr $M = 88^{cm} C$; man kann das berechnete Volum $M$ leicht durch Tatonnement corrigiren. Hough täuscht sich, wenn er sagt, dass diese Gleichung nur gilt; wenn die Oberflächen der beiden Niveau's gleich sind; sie drückt allgemein die Bedingung der Compensation aus. Der Volum $M$ muss also gleich dem einer Säule sein, die $C$ zur Basis und eine Höhe von 88 Centimeter hat (oder vielmehr von $\frac{q}{q-3e}\beta$ Centimeter, um allgemeiner zu sprechen). Würde das innere Caliber der Barometerkammer 1 Centimeter betragen, so hätte man $C = 79$ Quadratmillimeter und $M = 70$ Cubikcentimeter; man müsste also in das Barometer etwa 940 Gramm Quecksilber giessen. Für ein doppeltes Caliber müsste man viermal so viel hineingiessen und sofort; die Quantität $m$ ist proportional der Oberfläche $C$.

Hätte die Röhre einen gleichförmigen Querschnitt gleich $C$, so würde das Volum $M$, welches das Barometer compensirte, dabei eine Säule von 88 Centimeter bilden, und wenn man 76 Centimeter für die Niveaudifferenz davon abzöge, so blieben 12 Centimeter übrig, um die Communicationsröhre bis zum inneren Niveau zu füllen. Dies würde vielleicht genügen, um den Variationen des Luftdruckes entgegenzustehen, denn sie würden sich nur in Veränderungen von $^1/_2$ Millimeter für 1 Millimeter Druck auf jeden der beiden Schenkel übertragen. Es wird jedoch besser sein, die Röhre in eine weite Kammer endigen zu lassen, was eine längere Säule unter dem inneren Niveau zulassen wird. Ich will $C$ den Querschnitt der Kammer, $E$ den des offenen Schenkels, $S$ den der Communicationsröhre, $K$ die Länge dieser Röhre, $H$ und $P$ die Höhe des Quecksilbers in der Kammer und im offenen Schenkel nennen; dann ist

$$M = C.H + EP + KS.$$

Nehmen wir $H = P$ gleich dem mittleren Drucke von 76 Centimeter, so wird die verticale Distanz der beiden Enden der Communicationsröhre 76 Centimeter sein müssen; es wird also bequem sein, ihre ganze Länge $K$ gleich 88 Centimeter zu nehmen, so dass die Bedingungsgleichung wird

$$P(C+E) = 88^{cm}\ C-S).$$

Eine Variation von $m$ Millimeter im Luftdrucke wird also das Quecksilber in der Kammer um $h$ Millimeter zum Steigen bringen,

während es im offenen Schenkel um $p$ Millimeter fallen wird; man hat also $h+p=m$ und $Ch=Ep$

und daraus

$$h=\frac{Em}{C+E}=\frac{E}{C}\cdot p$$

$$p=\frac{Cm}{C-E}.$$

Für $C=E$ hätte man $h=p={}^1/_2$ Millimeter; wenn aber die beiden Oberflächen sehr verschieden sind, so ändert sich das Niveau im weiten Schenkel fast gar nicht, während es im engen Schenkel fast um 1 Millimeter variirt, wenn der Luftdruck eine Variation von 1 Millimeter erfährt. Uebrigens sieht man, dass die Niveauveränderungen immer proportional der Barometervariation sind, die aus der Temperatur folgende Correction und den Einfluss der Ungleichheiten des Calibers vorbehalten. Bei einem compensirten Barometer, wo das innere Niveau unabhängig von der Temperatur ist, verschwinden diese Störungen und die Variationen dieses Niveau's sind genau proportional den Variationen des Barometers, wenn nur die obere Kammer gut calibrirt ist. Ich sehe also nicht ein, woher Hough seinen error due to capacity of cistern nimmt, der ihn hindert, eine weite Kammer mit einem grösseren Durchmesser, als der des offenen Schenkels ist, anzuwenden, um in diesem letzteren eine beträchtlichere Niveauveränderung zu erhalten. Ich sehe aber auch nicht ein, warum ein Barometer mit ungleichen Oberflächen nicht ebenso compensirt sein soll wie das, bei welchem man $C=E$ macht.

Nimmt man für das Verhältniss $S:C$ verschiedene Werthe und beachtet man, dass

$$P=88^{cm}\frac{C-S}{C}\cdot\frac{p}{m},$$

so findet man:

| Für $S=$ | $P=$ | Mit $E=C$: also $P=$ | $\frac{p}{m}=$ | Mit $E=S$: $P=$ | $\frac{p}{m}=$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $0{,}25\,C$ | $0^m{,}66\cdot\frac{p}{m}$ | $0^m{,}33$ | ${}^1/_2$ | $0^m{,}53$ | 0,80 |
| 0,5 | 0,44 | 0,22 | | 0,29 | 0,67 |
| 0,6 | 0,35 | 0,18 | | 0,22 | 0,63 |
| 0,7 | 0,26 | 0,13 | | 0,15 | 0,60 |
| 0,8 | 0,18 | 0,09 | | 0,10 | 0,56 |
| 0,9 | 0,09 | 0,05 | | 0,05 | 0,53 |
| 1,0 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,50 |

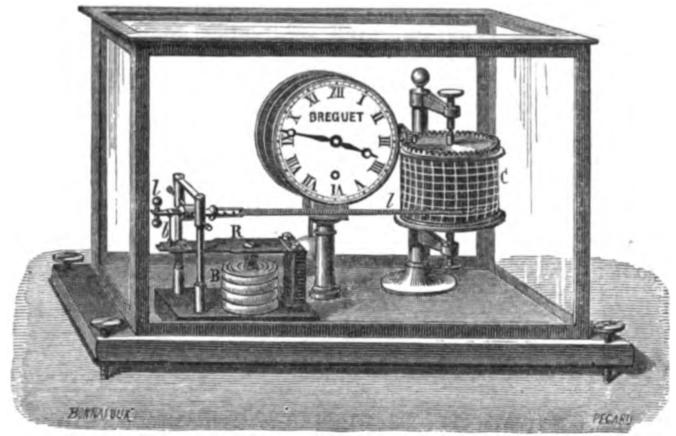
Beim Barometer von Regnard kann man das Volum $CH$ gleich dem nehmen, welches vom Kolben verdrängt wurde; nimmt man an, dass der Kolben in den offenen Schenkel hineingeht (man kann das Hilfsreservoir weglassen), so wird die Bedingungsgleichung

$$EP = 88^{cm}(C-S).$$

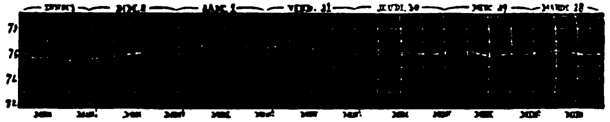
Für $E = C$ hätte man $P = 88^{cm}\frac{C-S}{C}$ und die Werthe von $P$ könnte man aus der zweiten Columne der obigen Tabelle nehmen. Der offene Schenkel, in welchen der Kolben hineingeht, könnte übrigens nach unten, unter die Communicationsröhre herab verlängert werden, $P$ würde immer die Gesammttiefe dieses Schenkels sein.

Das Druck- und Registrir-Verfahren von Hough könnte auf alle meteorologischen Instrumente angewendet werden. Hough schlägt z. B. vor, in den Boden eines Ombrometers den einen Schenkel eines U förmigen Rohres anzubringen, das mit Quecksilber gefüllt wäre; im anderen Schenkel hätte man einen Schwimmer, welcher wie der des Barometers functionniren würde, wobei das Regenwasser wie die Veränderungen des Luftdruckes wirkte.

Der von Breguet (Classe LXIV, Telegraphie) ausgestellte Barograph registrirt continuirlich die Angaben eines Aneroidbarometers, das aus vier übereinander befindlichen Metallbüchsen $B$ (Figur 11)




Figur 11. Barograph von Breguet.



Figur 12. Curve des Barographen.

mit wellenförmigen Oberflächen besteht, welche luftleer gemacht sind. Der Indicatorhebel $l'$ ist mit einer biegsamen Spitze versehen, welche auf einem Cylinder $C$ hinstreift, der durch ein Uhrwerk gedreht wird und einen Umlauf in der Woche zurücklegt. Der Cylinder ist von satinirtem Papier umgeben, das mit einer schwarzen Russschicht überzogen ist. Der Thermograph von Breguet registrirt alle fünf Minuten die Temperatur, welche von einer Spirale aus drei Metallen gegeben wird. Die Spirale trägt einen horizontalen Zeiger, der mit einem Tintengefässe versehen ist, in welchem sich dicke Tinte befindet; ein Zapfen, der durch dasselbe hindurchgeht, wird periodisch mittelst eines Uhrwerkes auf ein bewegliches Zifferblatt herabgesenkt, das von dem gleichen Uhrwerke weitergeführt wird. Figur 12 zeigt eine auf solche Weise erhaltene Curve.

Hipp aus Neuchatel hat gleichfalls einen Aneroidbarographen und einen Thermographen ausgestellt, der von einer Spirale aus zwei Metallen gebildet wird. Die Registrirung geschieht nach dem oben bereits beschriebenen Systeme auf einem Papierstreifen, der sich abwickelt. Ein Thermograph ähnlicher Construction wurde auch von Leopolder aus Wien ausgestellt. Die derartigen Apparate sind so bequem, dass man sie wahrscheinlich schliesslich allen anderen Systemen vorziehen wird, wenn es sich um automatische Registrirung handelt.

Lamont hat an der Münchener Sternwarte automatische Apparate seit 1837 aufgestellt. Zuerst waren es nur Barometer und Thermometer, welche zur bestimmten Stunde zugestopft wurden, so dass man am Ende von zwölf Stunden zwölf stündliche Ablesungen an einer Reihe von zwölf, gleichsam versteinerten Instrumenten vornehmen konnte. Im Jahre 1838 wendete Lamont auch ein Thermometer an, das aus einem 8 Meter langen Metalldrahte gebildet war, welcher eine mit 12 Theilungen versehene Schiene hob und senkte; zur bestimmten Stunde legte eine Uhr einen Index auf eine der Theilungen und am Ende von zwölf Stunden machte man die Ablesung des Instrumentes. Seit 1846 wendet Lamont wirkliche Registrirapparate an, bei welchen Metallspitzen, die von Hebeln getragen werden, die stündlichen Veränderungen der verschiedenen Instrumente auf Zinkcylinder marquiren, welche mit Wachs und Lampenruss überzogen sind. Einmal in der Woche werden die Ablesungen vorgenommen und die Cylinder wieder frisch überzogen. Der Thermograph besteht

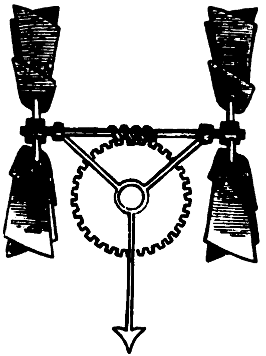
aus einer Zinkröhre, deren Ende auf einen Hebel wirkt. Der Barograph ist ein Heberbarometer, das mit einem Schwimmer versehen ist, der die Form einer hohlen Halbkugel hat, in welche das Quecksilber hineingeht. Ein Haarhygrometer ist in einen Hygrographen durch eine analoge Vorrichtung wie beim Barographen und Thermographen umgewandelt.[1])

Man sieht, dass die Mittel, welche man angewendet hat, um die Temperatur und den Luftdruck zu registriren, ungemein verschieden sind; ich habe übrigens nur die bekanntesten beschrieben.

Ich komme nun zu den anemographischen Apparaten, die dazu dienen, die Stärke und Richtung des Windes zu registriren. Man hat deren eine grosse Anzahl erfunden, aber nicht ein einziger davon ist populär geworden. Die Apparate sind besonders complicirt, wenn man die beiden Daten zugleich registriren will; man muss also damit beginnen, sie in mehrere Categorien zu theilen, deren Combinationen wir nachher prüfen werden.

Um die Richtung des Windes zu beobachten, hatte man seit undenklicher Zeit die Windfahne. Allein die Windfahne ist ein Pendel, welches bei der geringsten Anregung oscillirt. Parrot suchte die Beweglichkeit derselben zu vermindern, indem er sie aus zwei Platten von Eisenblech, die einen Winkel von 45° einschlossen, und einer dritten Platte zusammensetzte, die mit den beiden ersteren gleiche Winkel bildete; der horizontale Durchschnitt dieses Systemes gliech einem Y. Benzenberg brachte über der gewöhnlichen Windfahne eine um eine horizontale Axe bewegliche Platte an, welche die Neigung der Luftströmungen gegen den Horizont angeben sollte. Piazzi Smith (oder vielmehr Osler, wenn man Beckley Glauben schenkt), erdacht die Windmühlfahne (moulinet girouette, im Englischen fan und windmill-governor). Zwei grosse Flügelräder sind an einer horizontalen Stange befestigt, welche sich senkrecht gegen die Richtung des Windes stellen kann. Hat sie diese Stellung, so drehen sich die Räder nicht, denn der Wind trifft dann auf die Schneide der Schaufeln; macht jedoch die Stange einen anderen Winkel mit der Richtung des Windes, so werden die Räder und die Stange in ihren Lagern in Drehung versetzt. Diese Lager verstellen sich dann um eine verticale

1) Näheres darüber in: Lamont, Beschreibung der an der Münchener Sternwarte zu den Beobachtungen verwendeten neuen Instrumente und Apparate. — München, 1851. C.



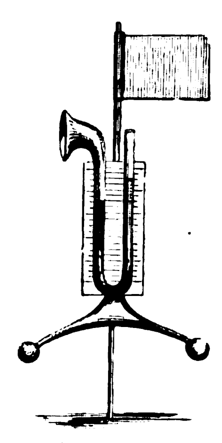
Figur 13. Windmühlfahne.

Axe mittelst einer Schraube ohne Ende, welche in die Stange eingeschnitten ist und in einen horizontalen gezahnten Kreis eingreift; das ganze System dreht sich also um den gezahnten Kreis, welcher fest ist, bis die Ebene der Räder dem Winde parallel steht. Dieser Windflügel, welcher mehr Stabilität als die gewöhnliche Windfahne hat, wird an vielen Observatorien angewendet.

Eine Windfahne von origineller Form findet sich beschrieben im Journal de physique von Rozier (Decembre 1782 p. 416). Sie ist um eine fixe Stange beweglich, welche ein Kronrad trägt, in das ein gezahntes verticales Rad eingreift, welches am Stabe der Windfahne angebracht ist. Wenn sich die Windfahne in einer horizontalen Ebene dreht, so dreht sich ein an der Axe des gezahnten Rades angebrachtes Kreuz in einer verticalen Ebene, senkrecht zur Ebene der Windfahne. Das Kreuz besteht aus einem Pfeile und einem Wurfspiesse, deren vier Enden die vier Hauptwinde markiren; die Pfeilspitze zeigt Ost an, der gefiederte Theil West, die Lilienblühte und der Halbmond, welche die Enden des Wurfspiesses bilden, Nord und Süd. Ist die Windfahne nach Norden gerichtet, so steht der Wurfspiess vertical, die Lilienblume oben, der Halbmond unten und der Pfeil, der dann horizontal steht, markirt Osten und Westen.

Um die Geschwindigkeit des Windes oder seine Stärke, welche dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionel ist, kennen zu lernen, wendet man die verschiedenartigsten Instrumente an. Die Druckanemometer geben direct die Stärke den Windes an; es sind dies um eine horizontale Axe bewegliche Platten, eine Art Fallthüren, welche der Wind hebt (Pickering 1744, Oertel, Herrmann, Dalberg, Demenge, Hugh Hamel, G. G. Schmidt, Kreil, Tanpenot);

oder Federn, welche er zusammendrückt (Bougner, Nollet, Zeiher, Regnier, Poschmann, Martin, Beaufoy, Osler, Jelineck); oder Windfahnen, welche senkrecht gegen den Wind durch eine Torsionskraft gehalten werden (Valz); oder communicirende Röhren, wo der Wind die Flüssigkeitssäule in einen Schenkel zum Steigen bringt, wenn er in einen horizontalen trompetenartigen Ansatz bläst, in den der andere Schenkel ausläuft (Hales, Lind etc.) Alle



Figur 14. Anemometer von Lind.

diese Apparate müssen durch eine Windfahne eingestellt werden, welche sie senkrecht gegen den Wind stellt, damit er seine volle Wirkung ausüben kann. Das Gleiche gilt für Windflügel, die an einer horizontalen Axe befestigt sind, deren Rotation, die mittelst einer Schraube ohne Ende auf ein gezahntes Rad übertragen wird, die Stärke des Windes misst (Christian Wolf, 1709). Bei dem Anemometer von Wolf ist das gezahnte Rad an einer horizontalen Axe befestigt, welche eine mit einem Gewichte belastete transversale Stange trägt; die Winkelhöhe, zu der sich das Gewicht erhebt, gibt roh das Maximum der Windstärke an. Leutmann (1728) hat dieses Anemometer dahin abgeändert, dass er den transversalen Balancier durch eine Spule ersetzte, um welche eine durch ein Gewicht gespannte Saite aufgerollt war; die Spule wurde arretirt, wenn der Wind das Maximum an Stärke erreicht hatte. Leutmann ersetzte auch den verticalen Windflügel durch einen horizontalen Flügel à la polonaise; es ist dies eine Scheibe, welche mit gekrümmten Schaufeln versehen ist, deren Convexität in der Richtung der Rotation gelegen ist. Der Wind gleitet an den

convexen Seiten, welche er auf der einen Seite der verticalen Axe trifft, ab und fliesst in die concaven Seiten auf der andern Seite, so dass der Windflügel sich nur nach einer einzigen Richtung hin drehen kann. Der Robinson'sche Flügel beruht auf dem gleichen Principe; es ist klar, dass die horizontalen Windflügel keine Einstellung nöthig haben oder vielmehr, dass sie immer eingestellt sind.

Die Geschwindigkeitsanemometer bilden eine andere Kategorie von Apparaten. Das Erste ist das von Michel Lomonosow. Es ist dies ein verticales Rad, das von einer Windfahne getragen und dessen Rotation durch ein Räderwerk und eine Schnur auf eine Trommel übertragen wird, die sich um eine am Fusse der Windfahne befestigte Axe dreht. Die Rotation des Rades und die der Trommel zeigen den vom Winde durchlaufenen Weg an. Um die Beobachtung zu erleichtern, trägt die Trommel eine kleine Röhre, welche in einen Kranz von im Kreise angeordneten Fächern Quecksilber giesst; die Quantität der ausgegossenen Flüssigkeit muss die Zahl der von der Trommel ausgeführten Umdrehungen angeben, die Fächer zeigen die Richtung an, in welcher der Wind geweht hat. Das gleiche Registrirverfahren (ein unvollkommenes Verfahren, wenn überhaupt etwas daran wäre) ist bei der Sanduhrwindfahne von P. Beaudoux angewendet, welche Sand in einen Kranz von Fächern giesst. Man begegnet ihr wieder bei dem Anemoscop von Liais, wo die Windfahne einen Trichter, der von einem Mariotte'schen Gefässe gespeist wird, über mehrere concentrische Kränze fortführt; ein Druckanemometer wirkt auf das Gefäss, aus welchem das Wasser ausfliesst und nähert ihn der Axe um so weiter, je stärker der Wind ist; die Intensität der Winde wird also durch den Abstand der Fächer vom Mittelpunct des Apparates angegeben. Man sieht sogleich, dass die Verdunstung Einfluss auf dieses Anemoscop haben muss.

Wollte man absolut die Registrirung durch Kränze von Fächern anwenden, so könnte man noch an ein anderes System denken. Es wäre dies eine Heberwindfahne, die sich um das Centrum eines Quecksilberbades drehte, welches in eine flache Büchse eingeschlossen ist. Gleichzeitig würde die Windfahne dem Winde eine Art Trompete entgegenhalten, welche mit der Luft in der Büchse communicirt. Ein Wind von der Geschwindigkeit $v$ würde im Innern der Büchse einen Druck gleich $0{,}00\,v^2$ Millimeter Quecksilber erzeugen, welcher sich zur Niveaudifferenz $h$, die das Ausfliessen des Hebers bestimmt, hinzufügen

würde; die Ausflussgeschwindigkeit würde also gleich $\sqrt{2g(h+0{,}005v^2)}$ und auch nahe $\frac{1}{100}v$, wenn man $h=0$ nimmt. Ein frischer Wind, der 10 Meter in der Secunde durchläuft, würde ein Ausfliessen von 1 Decimeter in der Secunde geben. Ich glaube übrigens nicht, dass dieses System für die Praxis zu empfehlen ist.

Beim Anemographen, welchen d'Ons-en-Bray im Jahre 1734[1]) bekannt gemacht hat, wird die Geschwindigkeit des Windes durch den horizontalen Windflügel von Leutmann gemessen. Nach 400 Umdrehungen des Windflügels schlägt ein kleiner Hammer auf eine Spitze, welche ein Loch in einen Papierstreifen macht. Dieser Papierstreifen rollt sich von einem verticalen Cylinder ab und gleichzeitig auf einen zweiten, dem ersten parallelen Cylinder auf; das Uhrwerk, welches die beiden Cylinder in Drehung versetzt, macht in jeder Viertelstunde eine Marke auf den Papierstreifen. Man kennt also die Zahl der in einer Viertelstunde zurückgelegten Umgänge; allein d'Ons-en-Bray hat unterlassen, das Verhältniss anzugeben, welches zwischen der Geschwindigkeit des Windes und der seines Windflügels statthat; in seiner Abhandlung sagt er, dass er vorhabe, die über diesen Gegenstand von ihm angestellten Versuche fortzusetzen und seiner Zeit das Resultat am geeigneten Orte zu veröffentlichen; allein er scheint sein Vorhaben nicht ausgeführt zu haben. Sein Apparat existirt noch im Conservatoire des arts et métiers.

Um die Richtung des Windes zu registriren, rollen zwei andere Cylinder einen zweiten Papierstreifen, der breiter als der erste ist, vor 32 Spitzen ab, die in einer Schraubenlinie an einem verticalen Stabe angebracht sind, welcher die Windfahne trägt. Dreht sich der Stab, so befindet sich immer ein anderer Stift dem Papiere gegenüber und lässt daselbst seine Spur so lange zurück, als die Windfahne unbeweglich bleibt. Die verticale Höhe dieser Spur giebt die Richtung des Windes; es ist dies die Ordinate einer Curve, deren Abscisse die Zeit bildet. Das zu diesem Zwecke angewandte Papier ist mässig starkes, gewöhnliches Papier, das nach dem Verfahren von Winslow präparirt, d. h. mit calcinirtem Hirschhorn eingerieben ist. Die Metallspitzen hinterlassen daselbst eine graue Spur. Dieses System wurde von Magellan bei seinem „perpetuirlichen Meteorographen" adoptirt.

---

1) Histoire de l'Académie des Sciences 1734, p. 123 avec 6 planches.

Bei dem Berner Meteorographen, welcher in den Jahren 1861 bis 1864 von Hasler nach den Angaben von Wild construirt wurde, wird die Richtung des Windes gleichfalls mittelst einer Windfahne registrirt, welche einen mit Wülsten versehenen Cylinder führt (acht Wülste für die acht Hauptwinde). Diesen Wülsten gegenüber stehen acht mit Spitzen versehene Federn, und es steht immer wenigstens eine Wulst mit einer Feder in Contact und also auch eine Spitze in Berührung mit dem Papiere. Wenn zwei Spitzen zugleich markiren, so ist der Wind zwischen den beiden, durch sie repräsentirten Richtungen enthalten; die Wülste sind breit genug, dass zwei zugleich mit ihren Federn in Contact stehen können. Immer nach 10 Minuten hebt ein electromagnetischer Motor alle Spitzen und schiebt das Papier um einen Zahn weiter. Die Geschwindigkeit des Windes wird durch einen Robinson'schen Flügel erhalten, welcher mittelst eines Räderwerkes auf einen beweglichen Läufer einer festen Stange entlang wirkt. Eine Verrückung des Läufers um 1 Centimeter entspricht 725 Meter, die der Wind durchlaufen hat; es ist dies eine fünf Mal grössere Scala als die des Anemographen von Rom. Alle 10 Minuten stösst der electromagnetische Motor die Spitze des Läufers gegen das Papier und markirt daselbst seine Lage, sodann zieht er ihn auf den Nullpunct der Scala zurück.

Als Barograph wendet Wild, wie ich bereits erwähnt habe, ein Wagbarometer an, als Thermograph eine doppelte Spirale von Stahl, die mit Messing gefüttert ist. Die Scala des Barographen ist $2^{mm}_{,}3$ für $1^{m}$ Druck, die des Thermographen $1^{mm}_{,}65$ für $1^{0}$ C. Wild hatte zuerst seinem Barometer die Form des von Secchi in Rom angewendeten gegeben, allein nach einem an mich gerichteten Schreiben vom 26. September ist er nun zu der Form zurückgekehrt, die im Jahre 1831 von Minotto vorgeschlagen wurde (eine cylinderische, in der Mitte verengte Röhre). Der einzige Unterschied besteht darin, dass Minotto am unteren Ende der Röhre eine Glasglocke anbrachte, während Wild eine Art umgekehrte Flasche mit engem Halse verwendet. Um die Scala des Barographen zu bestimmen, verfährt Wild folgendermassen: Da die Röhren und das Gefäss aus Glas bestehen, so kann man direct die Höhen der Quecksilbersäule mittelst eines Kathetometers beobachten. Eine Reihe von auf solche Weise gemessenen Höhen werden mit den Coordinaten verglichen, welche der durch die bewegliche Spitze gezogenen Curve entsprechen; man wendet

auf die durch diese Vergleichung gebildeten Gleichungen die Methode der kleinsten Quadrate an und bestimmt so den wahrscheinlichsten Werth der Constanten des Instrumentes[1]). Ich glaube, dass man sich für diesen Gebrauch mit der Formel

$$\beta = \beta_0 + Ag - \gamma\ (t - t_0)$$

würde begnügen können, in welcher $A$ und $\gamma$ zwei Constante sind, $\beta$ und $\beta_0$ der wirkliche und der mittlere Druck, $t$ und $t_0$ die wirkliche und die mittlere Temperatur, $\sigma$ die Ordinate der Curve des Markirstifts. Man würde für $A$ und $\gamma$ provisorische Werthe nehmen, welche man im Nothfalle durch die oben gegebenen Formeln erhalten würde, sodann würde man den genauen Werth dieser Coëfficienten durch die Beobachtungen mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate bestimmen; denn es ist klar, dass sie die Theorie nie a priori mit der nöthigen Präcision wird bestimmen können. Die Theorie kann in derartigen Fragen nur den einzuschlagenden Weg angeben. Es ist dies Alles, was man von ihr verlangt, und es ist genügend, denn sie dient dann dazu, kostspielige Tatonnements zu vermeiden.

Der Berner Apparat ist ausserdem mit einem Ombrographen versehen, der auf einem analogen Principe, wie das des Robinson'schen Windflügels beruht. Es ist dies ein Wasserrädchen mit Zellen, in welches sich das aufgefangene Wasser ergiesst; die Rotationsgeschwindigkeit ist proportional der Regenmenge. Das Rad wirkt auf einen Zeiger, dessen Bewegungen so regulirt sind, dass eine Abweichung um 2 Centimeter einer Regenhöhe von 1 Millimeter entspricht. Um die Feuchtigkeit der Luft zu registriren, wendet Wild das Haarhygrometer von Saussure an, welches Kämtz in alle seine Rechte wieder eingesetzt hat. Dieses Instrument ist auf alle Fälle unendlich einfacher und bequemer als das Psychrometer, dessen Angaben, bevor man sie verwerthen kann, berechnet werden müssen, ohne auf die Complication Rücksicht nehmen zu wollen, welche ein registrirendes Psychrometer in die Construction eines Meteorographen hineinbringt.

Es ist eine Illusion zu glauben, dass das Psychrometer ein Präcisionsinstrument sei. Die Versuche von Regnault haben die ausserordentliche Veränderlichkeit des Constanten $A$ der Psychrometerformel

$$x = f - A\ (t - t')\ B$$

ergeben, wo $x$ die wirkliche Spannkraft des Wasserdampfes, $f$ das

1) Carl, Repertorium der phys. Technik, vol. II, Heft 4. 1866.



Maximum der Spannkraft, welche der Temperatur $t'$ des befeuchteten Thermometers entspricht, $t$ die Temperatur des trockenen Thermometers, $B$ den Barometerstand bezeichnen. Die Werthe von $A$, welche Regnault gefunden hat, variiren zwischen 0,0007 und 0,0013 je nach den Umständen, und man muss hinzufügen, dass in der Originalformel von August der Coëfficient $A$ von der Temperatur $t'$ abhängt und nicht der gleiche über und unter dem Nullpuncte ist. Auch Jamin, während er in seinem Cours de physique die Versuche von Regnault zusammenfasst, schliesst mit den Worten: „Man sieht, dass das Psychrometer weit davon entfernt ist, einem einfachen Gesetze zu gehorchen, wie man dies anfangs angenommen hatte; es ist in Wirklichkeit ein ebenso empirischer Apparat wie das Hygrometer von Saussure und erfordert wie dieses eine specielle Graduirung.

Der Hauptumstand, welcher sich der Anwendung des Psychrometers zu einem Registrirapparate für die Feuchtigkeit der Luft entgegenstellt, besteht darin, dass das Psychrometer nicht die Feuchtigkeit der Luft registrirt. Es gibt die Differenz der Temperaturen $t$ und $t'$; erst wenn man sie von der Spannkraft $f$, die man aus einer Tafel mit der Argumente $t'$ erhält, abzieht, kann man die Spannkraft $x$ erhalten, und erst dann, wenn man $x$ durch das Maximum der Spannkraft $T$, welche der Temperatur $t$ entspricht, dividirt, findet man die relative Feuchtigkeit $H$ der Luft. Nehmen wir an, dass an einer Station, wo das Barometer im Mittel auf $755^{mm}$ steht, eine Differenz von $4^0$ zwischen den Temperaturen:

$$-4^0 \text{ und } 8^0;\ 14^0 \text{ und } 10^0;\ 32^0 \text{ und } 28^0$$

beobachtet wird, so geben die Tafeln von Haeghens für diese drei Fälle:

| $t$ | $t'$ | $x$ | $H$ |
|---|---|---|---|
| $-4^0$ | $-8^0$ | $0^{mm},38$ | 11 |
| $+14$ | $+10$ | 6,75 | 57 |
| $+32$ | $+28$ | 25,61 | 72; |

die gleiche Differenz von $4^0$ wird also der Reihe nach eine relative Feuchtigkeit von 11 auf 100, von 57 auf 100, von 72 auf 100, je nach dem absoluten Werthe der Temperaturen $t$ und $t'$ ergeben. Es folgt daraus, dass der Anblick der Psychrometercurven nur eine sehr ungenügende Idee von der Feuchtigkeit geben kann und dass ein Haarhygrometer, das nach einem Condensations-Hygrometer graduirt ist, für die Registrirung den Vorzug verdient. Wild hat sich übri-

gens durch fortgesetzte Versuche überzeugt, dass die Angaben seines Hygrometers für die practischen Bedürfnisse hinreichend genau seien. In dem oben citirten Schreiben theilt er mir als Resultat zahlreicher Vergleichungen mit, dass dieses Instrument die relative Feuchtigkeit bis zu 1 auf 100 genau zu geben scheint, was eine mehr als hinreichende Genauigkeit ist.

P. Secchi zieht das electrische Psychrometer vor. Ich habe schon erwähnt, dass dieses Instrument, das sehr complicirt, folglich sehr leicht zu derangiren und sehr kostspielig ist, die gesuchte Feuchtigkeit nicht direct angibt. Es ist also nicht richtig, dass die vom Römischen Meteorographen gezogenen Curven unmittelbar, ohne vorhergängige Reduction, gebraucht werden können, sie nöthigen vielmehr zu einer ermüdenden Reduction. Ausserdem muss die Quecksilbersäule in den beiden Thermometern während des Durchganges des Stromes erwärmt werden, endlich kann auch das Wasser, welches an der Oberfläche des Quecksilbers condensirt wird, den Strom vor dem Contacte der Sonden schliessen und so die Angabe fehlerhaft machen. Man sieht also, dass die Anwendung des Registrir-Psychrometers den Meteorologen nicht anzurathen sein dürfte.

Um noch eine ungefähre Vorstellung vom Grade der Bewölkung zu erhalten, wendet Wild einen Metallthermographen an, welcher den Sonnenstrahlen und der nächtlichen Strahlung frei ausgesetzt ist; die Vergleichung seiner Curven mit denen des geschützten Thermographen lässt sehr charakteristische Unterschiede erkennen.

Die Bewegungen der Zeiger aller dieser Instrumente werden nach dem Hipp'schen Systeme registrirt und die Curven bilden Reihen von kleinen Löchern, die in Zwischenräumen von 10 zu 10 Minuten gebildet sind. Wild wendet dazu eine Batterie von zwölf Kohlenzinkelementen mit einer einzigen Flüssigkeit an, welche man sechs Monate unberührt stehen lassen kann.

Im Jahre 1865 hat Wild einen Universal-Meteorographen construiren lassen, bei dem alle diese Apparate der Art vereinigt sind, dass ihre Angaben auf dem gleichen Papierstreifen, der 60 Centimeter breit und 120 Meter lang ist, erfolgen; auf dem Papierstreifen sind schon die verschiedenen Scalen gedruckt und er reicht für ein Jahr aus. Das Modell dieses Apparates ist von Hasler in der Schweizer Maschinenabtheilung ausgestellt worden. Allein der Apparat von Bern ist ungünstig aufgestellt, es fehlt ihm die Eleganz; die grosse Menge

bleibt nicht vor dieser rein wissenschaftlichen Curiosität stehen, auch hat ihm die Commission nur eine silberne Medaille zuerkannt.

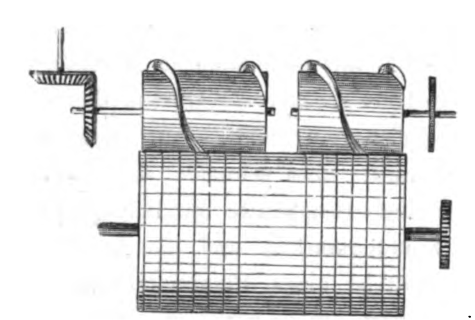
Seit dem Jahre 1864 werden die Curven des Meteorographen von Bern in folgender Weise verarbeitet. Am ersten eines jeden Monats findet die Ablesung statt. Man schneidet den Papierstreifen ab, welchen die Stifte der Registrirapparate mit Hieroglyphen bedeckt haben. Man verificirt die Stundenmarken und die Anzahl der Puncte. Man misst die Curven mittelst eines Planimeters aus, um die täglichen Mittelwerthe zu erhalten, man notirt die Extreme der Temperatur und des Barometerstandes, man verzeichnet die mittleren Richtungen und Geschwindigkeiten der Winde, der Regenmenge etc. etc., und alle diese Resultate werden am Ende des Jahres veröffentlicht. Wild hat ausserdem die Mittel für die Herstellung eines Meteorographen erhalten, welcher im nächsten Jahre auf dem Gipfel des Schreckhorn, 4080 Meter über der Meeresfläche aufgestellt werden wird und den man ein ganzes Jahr sich selbst überlassen kann.

Ein Universalmeteorograph, wie er in der Telegraphenwerkstätte von Hasler und Escher zu Bern verfertigt wird, kostet 2100 Frcs., der Barograph allein kommt auf 380 Frcs., der Anemograph auf 920, der Thermograph auf 260 Frcs. Ich weiss nicht, ob das electrische Pendel (225 Frcs.) und die Batterie (144 Frcs.) in dem Preise von 2100 Frcs. enthalten sind. Der Preis eines Meteorographen von Secchi variirt sich (nach dem veröffentlichten Prospectus) folgendermassen: Luxusmeteorograph 18,000 Frcs., einfacher Meteorograph 10,000 Frcs., noch einfacherer Meteorograph 3000 Frcs. Man schreibt mir aus Rom, dass die Sternwarte zu Madrid vor zwei oder drei Jahren um 10,000 Frcs. einen unter der Leitung von Secchi angefertigten Meteorographen gekauft hat; allein in den Publicationen des Observatoriums zu Madrid ist keine Rede davon; sollte man hieraus schliessen, dass der Apparat nicht functionnirt?

Um nun zu unseren Anemometern zurückzukehren, so kann man nicht unterlassen zu bemerken, dass eine frappante Analogie zwischen dem Apparate von Ons-en-Bray und dem von Beckley statt hat, der auf der Sternwarte zu Kiew functionirt[1]) und wovon die Herren Beck ein Modell (in der englischen Section, physikalische Instrumente) ausgestellt haben. Beckley ersetzt die 32 Spitzen durch einen voll-

1) Britisch Association Report for 1858. London, 1859.

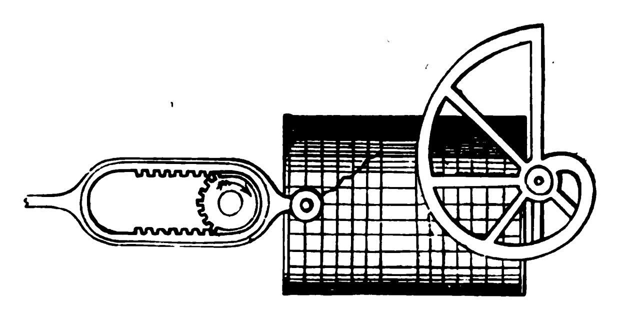




Figur 15. Anemograph von Kiew.

ständigen Schraubengang, welcher sich um einen Cylinder dreht, der von einer Windmühlen-Windfahne geführt wird. Dieser Schraubengang oder diese Schraube en relief, legt sich immer mit einem einzigen Puncte an einen Streifen von Metallpapier an, woselbst der Contact eine schwarze Marke erzeugt. Man erhält so die Curve der aufeinander folgenden Windrichtungen. Der Papierstreifen ist übrigens auf einen einzigen Cylinder aufgerollt, welchen ein Uhrwerk in gleichförmige Umdrehung versetzt. Auf denselben Streifen druckt ein zweiter Cylinder, welcher gleichfalls einen erhabenen Schraubengang trägt, die Geschwindigkeit des Windes. Er wird von einem Windflügel-Anemometer geführt, dessen Umdrehung erfolgt, wobei er sie jedoch verlangsamt; die Grösse, um die er sich dreht, stellt an einer reducirten Scala den vom Winde durchlaufenen Weg dar. Es entspricht also jedem Drehungswinkel ein anderer Punct der Schraube, welcher sich dem metallischen Papier gegenüber stellt; die Höhe des Contactpunctes, von der Basis des Cylinders an gerechnet, misst einigermassen den Drehungswinkel und also den vom Winde durchlaufenen Weg. Dieser Weg wird demnach als Ordinate einer Curve auf dem Papierstreifen gemessen, der langsam weitergerückt wird; hat der Schraubengang einen vollständigen Umlauf zurückgelegt, so wird die Curve unterbrochen und beginnt wieder unten am Papier. Es ist also hier die Länge des vom Winde in einer gegebenen Zeit durchlaufenen Weges, welche auf dem Papier abgelesen wird; man leitet daraus die Geschwindigkeit her, indem man die Unterschiede der gleichweit abstehenden Ordinaten nimmt.

Beckley hatte zuerst ein anderes System erdacht. Der Weg des Windes wurde durch eine oscilirende doppelte gezahnte Stange registrirt, welche das Windflügel-Anemometer hin- und herbewegte.

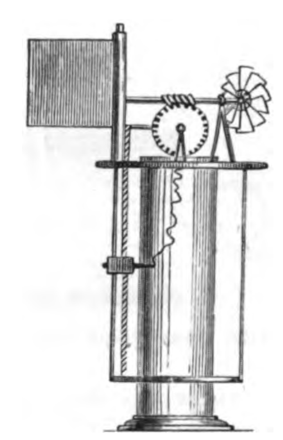


Figur 16. Alter Anemograph von Beckley.

Die Richtung des Windes wurde auf dem metallischen Papier durch den Schnitt einer Archimedischen Spirale markirt, welche aus einer Scheibe erhaben aufgetrieben war. Die Windfahne versetzte diese Scheibe in ihrer Ebene, parallel zur Axe des Cylinders, welcher das metallische Papier trug, in Umdrehung; allein der Contact der Spirale mit dem Cylinder war weniger fein als der des Cylinders mit der Schraube.

Das Anemometer, welches Pelisson im Jahre 1790 vom Uhrmacher Droz construiren liess, war ein verticaler Windflügel, der von einer Windfahne getragen wurde; nach hundert Umdrehungen löste er den Hammer eines Glockenwerkes aus und man musste die Anzahl der in einer gegebenen Zeit ausgeführten Schläge zählen. Der Apparat von Schober hat eine ganz analoge Construction. Woltmann wandte (1790) um die Geschwindigkeit der Luftströmungen und die der Gewässer zu messen, einen verticalen Windflügel an, der mit einem Zähler verbunden war, dessen Zeiger auf einem Zifferblatte die Anzahl von Umläufen markirte, welche während einer an der Uhr beobachteten Zeit ausgeführt wurden. Dieser Apparat wurde von Combes (1837) und Morin verbessert; er liegt auch dem Hand-Anemometer von Morin und Bianchi zu Grunde.

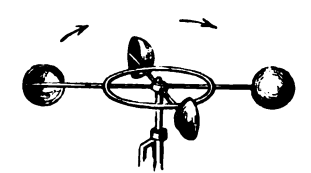
Ein verticaler Windflügel, der von einer Windfahne eingestellt wird, wird auch noch beim Anemographen von Whewell (1837) angewendet. Seine Rotation wird auf eine Schraube ohne Ende übertragen, welche einen Bleistift an einem verticalen Cylinder herabführt, der unterhalb der Windfahne angebracht ist; dieses System dreht sich um den Cylinder, wenn die Windfahne ihre Lage ändert. Der Bleistift zeichnet also auf den Cylinder eine Curve, deren Abscissen, die parallel zur Axe des Cylinders liegen, den vom Winde durchlaufenen



Figur 17. Anemograph von Whewell.

Weg darstellen, während die Ordinaten die Richtungen, aus denen er geweht hat, repräsentiren; allein man muss die Zeit gesondert notiren. Dieser Apparat gibt die Gesammtwirkung der Luftmassen im Intervalle von zwei Beobachtungen oder das was Whewell den Integraleffect nennt.

Der horizontale Windflügel von Robinson hat vor den Rädern mit verticalen Flügeln den Vortheil, dass er unabhängig von der



Figur 18. Windflügel von Robinson.

Windfahne ist. Es ist dies ein Drehkreuz, das aus zwei kreuzförmig stehenden Armen gebildet wird, welche in vier Tassen oder halbkugelförmige Calotten endigen, die alle in die gleiche Richtung gedreht sind, wie beim Windflügel à la polonaise. Der Wind bläst in die Höhlung einer Calotte, während er an der convexen Fläche der am anderen Ende desselben Armes befestigten abgleitet; der Windflügel dreht sich also immer nach der gleichen Richtung. Robinson hat durch Erfahrung gefunden, dass die Geschwindigkeit der Halbkugeln, gerechnet am Umfange des Kreises, welchen sie beschreiben, ein Drittel der Geschwindigkeit des Windes beträgt. Wenn also die Länge der Arme ein wenig mehr als 1 Meter beträgt, was eine Peripherie

von 3m,3 gibt, so entspricht ein Umlauf des Windflügels einer Geschwindigkeit des Windes, die gleich 10 Meter ist. Dieses Verhältniss hat auch Secchi für den Windflügel seines Meteorographen angenommen. Der Robinson'sche Flügel wird in England vielfach angewendet; er ist gewiss das bequemste von allen Anemometern.

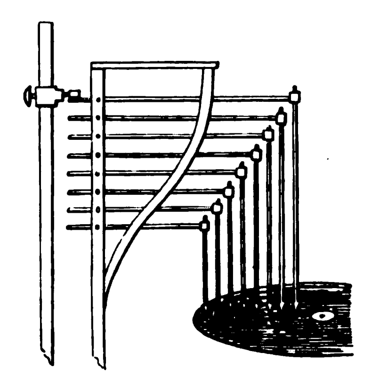
Ein sehr amusantes System ist das, welches Foster vorgeschlagen hat, um die Richtung schwacher Luftströme zu erkennen; es besteht darin, dass man der Luft eine Büchse mit sechs Wänden, die mit befeuchtetem Papier (papier buvard humecté) überzogen sind; dasjenige, welches am schnellsten trocknet, wird die Windrichtung anzeigen. Es ist dies der befeuchtete Finger, welchen die Jäger der Luft aussetzen, um die Richtung eines schwachen Windstromes an der Kälte zu erkennen, welche er bewirkt. Sir David Brewster nimmt dieses System in Schutz und verbindet sechs Minimumthermometer damit.

Ich will hier noch das Anemometer von Robert Adie erwähnen, welches in die Kategorie der Druckanemometer gehört. Es ist dies eine Trichter-Windfahne, welche durch eine gekrümmte Rohre unter Wasser mit dem Inneren einer Glocke in Verbindung steht, die an einer Rolle aufgehängt und durch ein Gegengewicht äquilibrirt ist. Wenn der Wind in den Trichter einströmt, so comprimirt er die Luft in der Glocke, diese wird gehoben, die Axe der Rolle dreht sich und der Faden des Gegengewichtes, der um eine Spindel gewunden ist, verstellt sich auf der letzteren der Art, dass das Moment des Gegengewichtes abnimmt; das Gleichgewicht wird so wieder hergestellt. Zwei Zeiger, welche die Rolle auf einem Zifferblatte in Drehung versetzt, markiren daselbst das Minimum und Maximum des Druckes mit Hilfe zweier fliegender Indices. Es scheint, dass dieser Apparat sehr empfindlich ist.

Es erübrigt noch von den verschiedenen Mitteln zu sprechen, welche ausser den bereits beschriebenen vorgeschlagen wurden, um die Richtung und Stärke des Windes zu registriren. Die Richtung kann leicht auf einer Scheibe mittelst eines Bleistiftes registrirt werden, welcher sich mit der am Centrum angebrachten Windfahne dreht. Es ist dies das System von Traill (1830). Man könnte es vervollkommnen, wenn man dem Bleistifte eine gleichförmige Bewegung vom Umfange nach der Mitte hin ertheilen würde; der Abstand von der Mitte würde dann die Zeit angeben. Man kann auch die Scheibe mit der Windfahne verbinden und den Bleistift einen fixen

Durchmesser entlang gehen lassen; dies ist das Anemoscop, welches Marié Davy für das Pariser Observatorium construiren liess. Der Cylinder von Whewell ersetzt die Scheibe mit Vortheil, denn er gibt eine gleichförmige und abwickelbare Curve.

Landriani liess für das Observatorium von Mailand einen Anemographen construiren, welcher die Richtung des Windes durch acht verticale Bleistifte registrirte, die in eine Reihe über einer horizontalen Scheibe angeordnet waren, welche in zwölf Stunden eine Umdrehung machte. Die Scheibe bestand aus mattgeschliffenem Glase; die Blei-



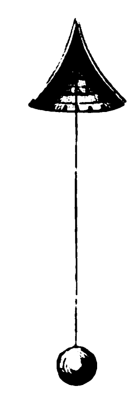
Figur 19. Anemograph von Landriani.

stifte waren vom Umfange gegen die Mitte hin geordnet und zogen acht concentrische Kreise, welche den acht Hauptpuncten des Horizontes entsprechen. Wenn der Wind in einer dieser Richtung wehte, wurde der entsprechende Bleistift gehoben und die von ihm gezogene Linie unterbrochen. Dies wurde durch acht Sectoren von 45° bewerkstelligt, welche an der verticalen Stange der Windfahne schraubenförmig angeordnet waren und acht Schlüssel oder Winkelhebel treffen konnten, welche die Bleistifte trugen. Parrot hatte einen ähnlichen Apparat mit 16 Schlüsseln ausführen lassen. Man wird die Analogie dieser Anordnung von Bleistiften mit den metallenen Kämmen von Bonelli, du Moncel und Dahlander bemerken.

Das Anemometer von Forbes beruht auf einem anderen Principe. Ein horizontaler Windflügel versetzt eine mit einem Loche versehene Scheibe über einer festen, gleichfalls durchbohrten Scheibe in Drehung. Die Scheiben bilden den Boden einer mit Kugeln gefüllten Büchse, und wenn zwei Oeffnungen übereinander zu liegen kommen, so geht eine Kugel durch und fällt von einer Höhe von etwa 1 Meter auf ein

grosses kreisförmiges Plateau herab, das in Sectoren und concentrische Streifen durch diametrale und kreisförmige Furchen eingetheilt ist. Wäre kein Wind vorhanden, so würden die Kugeln auf das Centrum herabfallen; der Wind lenkt sie ab und die Stelle, auf welche sie fallen, markirt die Richtung und Stärke des Windstosses. Dieser Apparat hat keinen practischen Werth.

Wheatstone hat eine practischere Idee du Moncel mitgetheilt. Eine hohle Kugel ist an einem Metalldrahte unter einer Art von zugespitz-



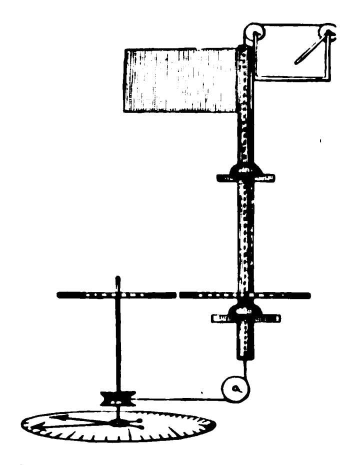
Figur 20. Anemometer von Wheatstone.

tem Hute, der mit parallelen, gleichfalls metallischen Kreisen gefüttert ist, aufgehängt. Wenn der Wind die Kugel hebt, so legt sich der Draht an die innere Wand des Hutes an und adhärirt daselbst in einer um so grösseren Ausdehnung, je stärker der Wind ist. Stehen also die parallelen Kreise mit telegraphischen Drähten in Verbindung, so wird die Anzahl der Kreise, welche der Draht berühren wird, die Windstärke angeben; sind die Kreise gleichzeitig unterbrochen, so wird das Azimuth der berührten Stellen die Richtung erkennen lassen, in welcher der Wind weht. Der verticale Schnitt des Hutes besteht nun aus zwei Curven, deren convexe Seiten gegen die Symmetrieaxe zu gelegen sind, welche durch den Draht in seiner Ruhelage dargestellt wird. Ich habe die Gleichung dieser Curven unter der Voraussetzung gesucht, dass die Länge des vom Drahte eingeschlossenen Bogens der Stärke des Windes proportional sei, welche stets gleich ist dem Gewichte der Kugel multiplicirt mit der Tangente der Ablenkung des Drahtes. Man hat dann

$$1 + cy = \frac{e^{cx} + e^{-cx}}{2}$$

wobei die Verticale zu $x$ Axe genommen und $c$ eine Constante ist. Der Bogen dieser Curve, von der Spitze an gerechnet, misst die Stärke des Windes; auf einer Parabel ($x^2 = cy$) würde sie durch den verticalen Abstand $x$ der Spitze vom letzten Contactpunct des Drahtes gemessen werden.

Ein anderes System wurde von einem Ungenannten im Mechanics Magazine von 1827 angegeben. Eine Windfahne stellt eine Fallplatte



Figur 21. Anonymes Anemometer.

ein, welche, indem sie gehoben wird, auf einen Faden wirkt, welcher durch die hohle Stange der Windfahne herabgeht und sich dann auf eine Rolle aufwickelt. Der Draht wird durch ein Gewicht oder eine Feder gespannt, die Axe der Rolle trägt einen Zeiger, welcher auf einem Zifferblatte die Stärke des Windes anzeigt. Die Stange der Windfahne ist von einem gezahnten Kreise umgeben, welcher die Axe eines zweiten Zeigers in Umdrehung versetzt. Es würde offenbar nichts hindern, die beiden Zeiger über demselben Zifferblatte gehen zu lassen. Dieses sehr empfindliche und sehr bequeme System wurde von Muncke in folgender Weise abgeändert: die beiden Zeiger tragen Bleistifte, welche auf zwei festen Tableau's die Richtung und das Maximum der Windstärke angeben. Die Zeit, welche zu diesen Angaben gehört, bleibt unbekannt.

An die Stelle der Fallplatte kann man eine Spiralfeder setzen, dann hat man die Anemometer von Osler und Jelinek; die Fallplatte ist beibehalten bei dem von Kreil und bei dem einen der von

du Moncel angegebenen. Bei dem von Taupenot hat die Windfahne die Form einer Scheibe, die sich in ihrer Ebene drehen kann, wenn der Wind auf eine am Rande dieser Scheibe befestigte Schaufel wirkt und sie von ihrer verticalen Gleichgewichtslage ablenkt; der Eisendraht, welcher in der hohlen Stange steigt oder sinkt, wenn die Scheibe sich dreht, trägt einen horizontalen Index, welcher die Richtung des Windes anzeigt, da das ganze System sich mit der Windfahne dreht; eine verticale Theilung lässt die Stärke des Windes durch die Höhe des Index erkennen.

Um diese Anemoscope in Anemographen umzuwandeln, bei welchen die Stärke und Richtung des Windes zu entsprechender Zeit registrirt werden, hat man eine Menge von Mitteln vorgeschlagen. Beim alten Anemographen von Osler (1837) bewegt die Windfahne einen Bleistift über einem horizontalen Papierstreifen, auf den man parallele Linien gezogen hat, welche die Hauptwinde angeben; das Blatt wird in der Stunde um einen Zoll weiter gerückt und der Bleistift zeichnet gerade Linien, wenn die Windfahne stehen bleibt, Curven dagegen, wenn sie sich dreht. Dies gibt eine Vorstellung von den Variationen des Windes, allein eine sehr unvollkommene, da man nicht genau die Stunde erkennen kann, welche zu jeder Richtung gehört, indem das Rotationscentrum des Bleistiftträgers in jedem Augenblicke auf dem Papier verrückt wird. Die Stärke des Windes wird auf demselben Blatte durch einen zweiten Bleistift registrirt, welchen ein Draht senkrecht gegen die Translationsbewegung des Papieres fortzieht, wenn der Wind eine durch die Windfahne eingestellte Feder zusammendrückt. Taupenot registrirt die Windrichtung auf die gleiche Weise; allein die Stärke wird gesondert auf einem rotirenden Cylinder verzeichnet, was eine ganz unnöthige Complication ist. Dieser Apparat ist im Prytaneum zu La Flèche aufgestellt.

Beim ersten Anemographen, welchen Wild im Jahre 1861 für die meteorologische Station zu Bern construiren liess, hatte man dagegen das Osler'sche System vereinfacht, indem man den Draht direct auf den von der Windfahne eingestellten Bleistift wirken liess. Der Draht war an einem Täfelchen befestigt, welches der Wind hob, und er näherte den Bleistift der Axe der Windfahne um eine der Stärke des Windes proportionale Grösse. Ein electromagnetischer Motor zog den Papierstreifen weiter und hob ihn ausserdem alle zehn Minuten, so dass er in Contact mit einer Spitze kam, welche daselbst das Centrum

der Stange markirte. Dieser Apparat wurde bald aufgegeben und durch den oben besprochenen Anemographen ersetzt.

Titus Armellini will das Osler'sche System auf zwei verschiedene Arten abändern:

1) Er ersetzt die Feder durch ein verticales Schaufelrad, welches an die von Christian Wolf und Taupenot angewendeten Mechanismen erinnert; dieses Rad dient dazu, einen Draht zu heben, der in die Stange hinabgeht und durch ein Gewicht gespannt wird. Das Gewicht taucht in ein Gefäss ein, das mit Quecksilber gefüllt und im Innern der hohlen Stange angebracht ist; je weiter es aus der Flüssigkeit herausgeht, um so schwerer wird es und um so grösser ist die Spannung des Fadens. Die Stange trägt einen horizontalen, mit zwei Bleistiften versehenen Arm, wovon der eine fest, der andere beweglich ist; der letztere wird vom Drahte geführt und kann sich der Stange nähern, so dass der Abstand der beiden Bleistifte die Stärke des Windes erkennen lässt. Ein Electromagnet, der unter der Stange befestigt ist, wirkt auf den horizontalen Arm in durch ein Uhrwerk regulirten Intervallen und stösst die beiden Bleistifte gegen das Papierblatt, welches der gleiche Mechanismus in horizontaler Richtung fortführt. Es ist klar, dass eine nur wenig rasche Rotation der Windfahne die Curven der beiden Bleistifte völlig derangiren wird, wodurch eine Interpretation derselben unmöglich gemacht ist.

2) Armellini ersetzt das Druck-Anemometer durch einen Woltmann'schen Windflügel. Die Stange der Windfahne trägt unten zwei Bobinen, welche auf zwei horizontale Bleistiftträger wirken, so dass sie auf das horizontale Papierblatt Marken machen; die eine der Bobinen steht mit dem Uhrwerke, die andere mit dem Windflügel in Verbindung, so dass die Marken des ersteren Bleistiftes die Zeit, die des anderen die Umläufe des Windflügels angeben. Die Dicke der Puncte wird die Geschwindigkeit des Windes anzeigen. Allein was wird aus diesen Curven, wenn die Windfahne einen Umlauf um sich selbst zurücklegt? Sie verlieren dann alle Bedeutung.

Das von Osler und seinen Nachahmern so schlecht gelöste Problem ist das Folgende: Es ist die Richtung des Windes auf einem Papierstreifen zu registriren, der eine abgewickelte Cylinderfläche darstellt, anstatt sie auf einer geschlossenen Peripherie zu registriren wie dies stattfindet, wenn man eine Scheibe oder einen von der Windfahne eingestellten Cylinder anwendet. Die rationelle Lösung wird offenbar



darin bestehen, dass man die Kreisbewegung der Windfahne in eine gradlinige Bewegung des Ziehstiftes umwandelt und die Hauptschwierigkeit, welche zu besiegen wäre, wird die sein, dass man den Ziehstift immer auf seinen Ausgangspunct zurückführen muss, wenn die Windfahne einen vollständigen Umgang gemacht hat. Du Moncel hat zu diesem Behufe die folgende Einrichtung ausgedacht. Zwei gleiche Rollen, die durch einen Laufriemen oder durch eine Vaucanson'sche Kette mit einander verbunden sind, werden von der Windfahne eingestellt. Die Gesammtlänge des Riemens ist das dreifache des Umfanges einer Rolle; es folgt daraus, dass jeder seiner beiden gradlinigen Theile die Abwickelung einer Peripherie darstellt. Wenn also der Laufriemen drei gleich weit von einander abstehende Bleistifte trägt, welche er vor einem Papierstreifen vorbeizieht, dessen Breite dem Abstande der Mittelpuncte gleich ist, so wird immer ein Bleistift da sein, welcher die Richtungen des Windes verzeichnen wird.

Du Moncel hat diese Einrichtung bei dem mechanischen Anemographen angewendet, welchen er in seinem Hause zu Lebisey im Jahre 1855[1]) aufgestellt hat. Die Stärke des Windes wird hiernach durch eine bewegliche Platte erhalten, welche auf einen Draht wirkt, der in die Stange der Windfahne hinabgeht und der einen Bleistift in einer horizontalen graden Linie zur Bewegung bringt. Im Jahre 1858 hat Osler vor der Brittischen Association ein „tragbares Anemometer" angezeigt, welches auf dem gleichen Principe[2]) basirt. Die drei an der Vaucanson'schen Kette angebrachten Bleistifte schreiben auf einen Papierstreifen, welcher durch die Einwirkung eines Robinson'schen Flügels abgewickelt wird, so dass also die abgewickelte Länge der Geschwindigkeit des Windes proportional ist. Ein Uhrwerk markirt am Rande des Papieres Puncte, welche die Zeit darstellen. Es wäre besser, das Papier durch das Uhrwerk abwickeln zu lassen und die Puncte durch den Windflügel zu markiren.

Ein anderes Mittel würde in der Anwendung der Archimedischen Spirale bestehen, welche bereits von Beckley versucht wurde. Die Radien-Vectoren dieser Spirale wachsen wie die Winkel, wenn sie sich in ihrer Ebene um ihren Pol dreht, die Endpuncte der Radien, welche vor einem fixen Puncte vorbeigehen, nähern sich demselben

---

1) Revue des applications .... p. 426. Paris 1859.

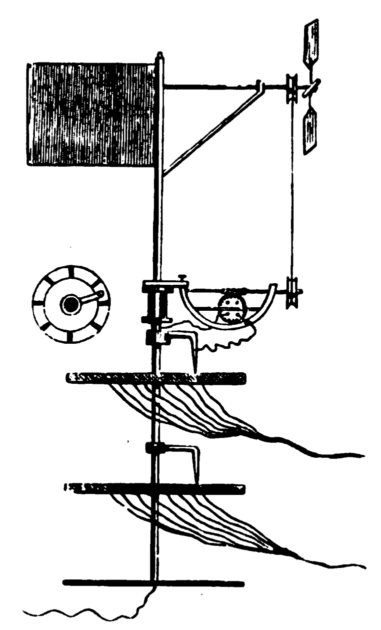
2) Report of the 28th. meeting. London 1859.

oder entfernen sich davon um Grössen, welche proportional der Drehung sind. Beckley nimmt eine Metall-Lamelle, welche die Form dieser Spirale hat und lässt sie durch die Windfahne einstellen. Der Schnitt dieser Lamelle berührt dann die Kanten eines mit Metallpapier überzogenen Cylinders, er markirt daselbst die Länge der Radien, welche die Drehung der Windfahne an diese Kante hinführt; die Richtung des Windes wird also durch die Länge dieser Radien repräsentirt, sie ist die Ordinate einer Curve, deren Abscisse die Zeit ist, und die Abscissen werden auf der Peripherie des Cylinders markirt, der sich langsam um seine Axe dreht. Salleron wendet die gleiche Spirale in anderer Weise an. Ueber dem horizontalen Papierstreifen des Osler'schen Anemometers lässt er zwei Bleistifte durch eine Excentrik von der Form eines Herzes führen, die aus zwei halben Umgängen der Archimedischen Spirale besteht, wovon der eine dicker als der andere ist, so dass die eine Hälfte des Herzes einen erhabenen Rand hat. Die beiden Bleistifte können eine gerade Linie entlang gehen, die durch das Centrum der Excentrik geht; sie werden durch zwei Federn an die entgegengesetzten Ränder der Scheibe angedrückt. Wenn die Windfahne die doppelte Spirale einstellt, so wird der eine der Bleistifte vorwärts gestossen oder zurückgezogen, er durchläuft eine Linie, welche den Theil $N, O, S$ der Windrose darstellt; der andere Bleistift steigt während dieser Zeit über den erhabenen Rand der anderen Hälfte der Excentrik, und befindet sich so ausser Anwendung. Nach einer halben Umdrehung der Windfahne steigt der erste Bleistift über den Rand der Excentrik, während der andere unter dieselbe sinkt; dieser letztere zieht also während des folgenden halben Umganges die in dem Theile $S, W, N$ der Windrose enthaltenen Richtungen, allein er geht von links nach rechts, während der erstere von rechts nach links gegangen ist. Eine vollständige Umdrehung wird also auf zwei parallelen Streifen registrirt in folgender Ordnung: | *N. W. S.* | *N. O. S.* |. Die Bleistifte sind an den Enden zweier Hebel befestigt, welche hinlänglich lang sind, um ihre Bewegung als geradlinig nehmen zu können.

Man kann für den gleichen Zweck auch noch einen Schraubenumgang anwenden, welcher die Drehungswinkel durch Ordinaten darstellt, die senkrecht zur Drehungsebene stehen. Wenn die Schraube eine Linie erzeugt, indem sie sich mit ihrem Schnitte an die Kante des Cylinders oder einfach an ein ebenes Papierblatt anlegt, so wird die Höhe der

Curve den Drehungswinkel darstellen; es findet dies beim Anemographen von Kiew statt. Die schraubenförmig angeordneten Spitzen beim Anemographen von d'Ons en Bray erfüllen denselben Zweck auf eine weniger vollkommene Weise.

Man kann auch eine Reihe von parallelen Bleistiften auf einer geraden Linie anordnen, welche die Breite des Papierstreifens einnimmt, und die Windfahne Umgang für Umgang auf den einen oder anderen dieser Bleistifte einwirken lassen; man erhält auf diese Weise eine discontinuirliche Registrirung. Dies ist das von Parrot und Landriani angewandte System. Du Moncel hat es durch die Einführung der Electricität vervollkommnet [1]). Er befestigt acht parallele Bleistifte an acht Hebeln, die mit eben so vielen Electromagneten in



Figur 22. Electrisches Anemometer von du Moncel.

Verbindung stehen, welche sie an das Papier andrücken, so oft der Strom geschlossen wird. Die Stange der Windfahne steht in Verbindung mit dem einen Pole der Batterie. Ein Reibezapfen bewegt sich über einen „Azimutal-Commutator" hin, d. h. über einen metallenen

1) Exposé des applications .... t. II. Paris 1856. Der Apparat datirt vom Jahre 1852.

Kreis, der in acht Sectoren getheilt ist, welche mit den acht Electromagneten in Verbindung stehen und den acht Hauptwinden entsprechen. Befindet sich der Reibezapfen über einem Sector, so schliesst er den Strom eines Electromagneten und dieser letztere lässt den Bleistift, welchen er trägt, auf den Cylinder herab, der sich langsam unter den acht Electromagneten dreht. Aus der Länge der Curven erkennt man die Zeit, während welcher der Wind in einem der acht Theile der Windrose geblieben ist. Addirt man die Stärke der Curven, die auf demselben Papierstreifen des Cylinders sich befinden, so hätte man die Gesammtzeit, während welcher derselbe Wind geweht hatte oder den Grad der Beständigkeit dieses Windes. Du Moncel lässt dies jedoch durch acht Zählwerke ausführen. Ueber jedem der acht Electromagneten steht ein Minutenzähler (minuterie), dessen Zeiger sich nur dann bewegt, wenn der Strom in der Bobine circulirt; dieser Zeiger gibt also die Zeit an, während welcher der entsprechende Wind geweht hat.

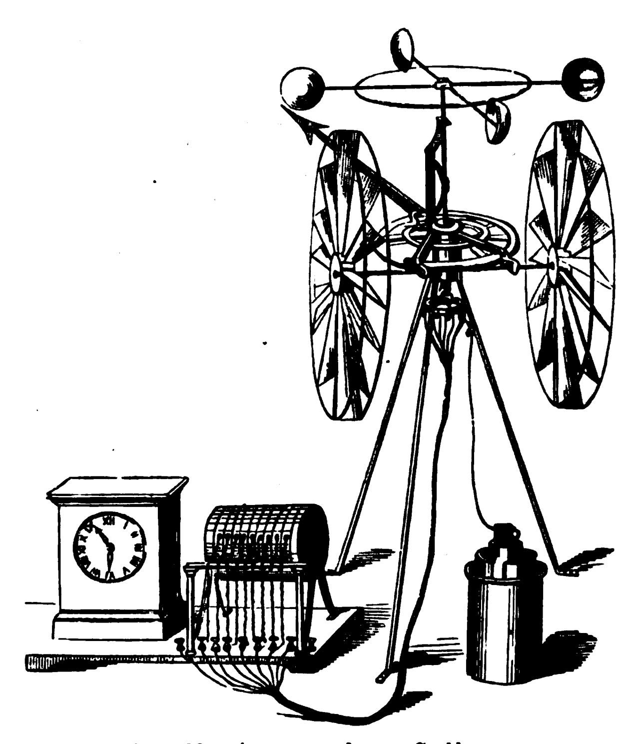
Um die Geschwindigkeit des Windes zu registriren wendet du Moncel einen Woltmann'schen Flügel an, der von der Windfahne eingestellt wird. Der Windflügel wirkt auf ein Rad mit 60 Zähnen, das an der einen Seite mit vier Wülsten, an der anderen mit einer Nase (butoir) von Platin versehen ist. Hat der Windflügel 60 Umgänge gemacht, so trifft die Nase am Rade eine Feder, die an einem isolirten Sperrringe (bague) befestigt ist, welchen die Stange der Windfahne trägt. Da dieser Sperrring durch einen Draht mit einem neunten Electromagneten verbunden ist, so wird der Schliessungskreis dieses Electromagneten momentan geschlossen und ein Bleistift macht am Rande des Papieres eine Marke. Zählt man die Zahl der in einer gegebenen Papierlänge enthaltenen Marken, so weiss man, wie oftmal der Windflügel 60 Umgänge in dem dieser Länge entsprechenden Zeitintervalle zurückgelegt hat; dies gibt dann die mittlere Geschwindigkeit des Windes. Um den von jedem Winde zurückgelegten Weg gesondert zu erhalten, hätte man nur die Marken der Geschwindigkeit mit der Curve der Richtungen zu vergleichen; allein du Moncel erhält dieses Datum auf unabhängige Weise mittelst sechs specieller Zählwerke, welche aus Electromagneten mit einer einzigen Bobine und aus Kronrädern zusammengesetzt sind, die an ihren Rändern eingravirte Ziffern tragen. Diese acht Electromagnete sind durch acht Drähte mit einem Azimutal-Rheotomen verbunden, der ähnlich dem

ist, mit welchem die auf die Ziehstifte wirkenden Electromagnete in Verbindung stehen. Die Windfahne führt dort einen zweiten Reibezapfen herum, welcher von der Stange durch einen Holzmantel isolirt ist, um das Durcheinandergerathen der Ströme zu vermeiden; der Reibezapfen ist mit der Feder verbunden, an welche sich die vier Wülste des Rades mit 60 Zähnen viermal während eines Umganges des Rades, also immer nach 15 Umgängen des Windflügels anlegen. Es folgt daraus, dass immer nach 15 Umgängen der Strom denjenigen Sector durchläuft, über welchem sich eben der Reibezapfen befindet, und dass das Sperrrad des entsprechenden Zählwerkes um einen Zahn fortrückt. Am Ende des Tages kann man also an den Zählwerken den gesammten Weg ablesen, welcher von den acht Winden der Windrose zurückgelegt wurde.

Dieser Anemograph erfordert siebenzehn Electromagnete, zwei Commutatoren und achtzehn telegraphische Drähte (welche man bündelförmig in ein Cabel vereinigen kann, das in eine Bleiröhre eingeschlossen ist). Du Moncel hat übrigens für die Ersparung an Draht Sorge getragen, indem er einen Anemographen mit nur drei Drähte für den Fall construirte, wo die Windfahne in grosser Entfernung vom Registrirapparate aufgestellt werden muss. Die Windfahne steht in Verbindung mit nur einem Azimutal-Commutator, dessen Wirkung darin besteht, dass er auf zwei verschiedene Schliessungskreise einwirken kann, je nachdem er nach der einen oder anderen Richtung hin gedreht wird; er ist durch den ersten Draht mit der Batterie verbunden, die beiden anderen Drähte schliessen den Kreis von zwei einander entgegengesetzten Electromagneten. Zwischen den Schenkeln dieser Electromagneten kann sich ein Sperrrad drehen, welches nur 8 Zähne hat; jede Bewegung der Armatur des ersten Electromagneten schiebt es um einen Zahn weiter von rechts nach links, jede Bewegung der andern um einen Zahn von links nach rechts. Wenn die Windfahne sich von rechts nach links dreht, so circulirt der Strom im ersten Electromagneten und das Sperrrad dreht sich auch von rechts nach links; es dreht sich in entgegengesetzter Richtung, wenn die Windfahne rückwärts geht, wodurch es mit dem zweiten Electromagneten in Verbindung gesetzt wird. Der Commutator erzeugt erst Unterbrechungen des Stromes während eines vollständigen Umganges der Windfahne, und da jede Unterbrechung das Rad um einen Zahn oder um ein Achtel des Umfanges weiter schiebt, so bleibt es immer

übereinstimmend mit der Windfahne eingestellt; es ist dies gerade so als befinde sich die Windfahne in nächster Nähe des Registrirapparates. Trägt das Rad einen Reibezapfen, der es über einen gewöhnlichen Azimutal-Commutator in Verbindung mit einer Hilfsbatterie hinführt, so kann es das Spiel von acht Electromagneten reguliren, die von dieser Batterie in Wirksamkeit versetzt werden, und Alles wird wie beim vorigen Apparat angeordnet werden können.

Salleron hat diesen Anemographen verbessert, indem er dabei die Windräder von Piazzi-Smith und den Robinson'schen Flügel



Figur 23. Anemograph von Salleron.

statt der Windfahne und des Woltmann'schen Flügels substituirte. Er lässt die Electromagnete und die Zählwerke weg; die Curve wird mittelst eines Kammes mit neun Zähnen erhalten, welche beständig am Cylinder anliegen, der von Metall und mit chemischem Papier überzogen ist, welches mittelst Ferrocyankalium präparirt wird; sowie der Strom durch eine Spitze geht, erzeugt sie eine blaue Spur auf dem Papier. Salleron hat das Osler'sche Anemometer gleichfalls

verbessert, indem er dabei den Bewegungsapparat neu einrichtete und den Bleistift für die Windrichtungen durch eine Excentrik führte, wovon oben schon die Rede war.[1])

P. Secchi hat das System von du Moncel gewählt, um die Windrichtungen an seinem Anemographen zu registriren; er reducirt jedoch die Anzahl der Bleistifte auf vier und lässt ihnen eine transversale hin- und hergehende Bewegung durch die Electromagnete ertheilen, in welchen ein Robinson'scher Windflügel den Strom periodisch unterbricht, so dass die mehr oder weniger beträchtliche Dicke der parallelen Linien die relative Stärke des Windes angibt. Ausserdem rückt der Windflügel während einer Stunde einen Bleistift in der zur Verstellung des Papieres senkrechten Richtung vorwärts; sowie die Stunde an der Uhr schlägt, macht ein Hebel den Bleistift frei, der rasch zum Nullpunct der Theilung zurückkommt und sein Linienziehen von Neuem beginnt. Die Länge der Linien repräsentirt den Weg, welchen der Wind in einer Stunde zurückgelegt hat; beim Meteorographen von Rom entsprechen 5 Millimeter einer Seemeile (1852 Meter). Man könnte den Bleistift für die Geschwindigkeiten weglassen, wenn die parallelen Linien der vier anderen Bleistifte hinlänglich weit auseinander stünden, um gezählt werden zu können.

Im Pavillon zu Billancourt hat Breguet den Anemographen von Hervé-Mangon ausgestellt, welcher gleichfalls eine Modification des von du Moncel angegebenen ist. Es besteht aus fünf Electromagneten (Électroaimants trembleurs), welche Marken auf einen Papierstreifen machen, den eine Walze über ein Sperrhorn mit longitudinalen Ruthen aufrollt. Der erste Electromagnet ist mit einem Robinson'schen Windflügel, die vier andern mit der Windfahne und mit einer Unterbrechungsfeder verbunden, die mit der Uhr in Verbindung steht.

Es ist offenbar gleichgültig, ob das Papierblatt dem Ziehstifte eine ebene Fläche oder die Kante eines Cylinders entgegenstellt, und wenn es auf einem Cylinder aufgerollt ist, so kann man auch eine noch mehr entwickelte Curve erhalten, wenn man den Cylinder gleichzeitig während er sich dreht, auch noch in der Richtung seiner Axe vorwärts führt; die Curve bildet dann eine Schraube mit mehr oder weniger auseinander gezogenen Windungen. Dieser Kunstgriff, welchen

1) Im Pavillon de Grignan hat das landwirthschaftliche Institut von Grignan einen electrischen Meteorographen von Salleron ausgestellt, welcher den Wind, den Regen und den Barometerstand aufzeichnet.



man seit langer Zeit bei den vibrographischen Apparaten anwendet, wurde mit Vortheil beim Anemographen von du Moncel in Anwendung gebracht. Anstatt der Bleistifte, welche auf gewöhnliches Papier Linien ziehen, kann man Metallspitzen anwenden, welche eine schwarze Spur auf mit Zinkweiss präparirtem Papier, eine blaue Spur auf mit Ferrocyankalium präparirtem Papier etc. hinterlässt. Auf einem an der Lampe geschwärzten Papier erzeugt irgend eine biegsame Spitze eine weisse Spur, welche man in einem Alcoholbade fixiren kann; dies ist, wie ich glaube, besser als die mit Wachs und Lampenruss überzogenen Cylinder, welche Lamont in München anwendet. Der Inductionsfunke, welcher Löcher in das Papier macht, kann gleichfalls als Mittel angewendet werden, um die Angaben der Instrumente zu registriren; doch soll dieses Hilfsmittel nicht sehr bequem sein.

Ich habe noch einige Anemographen neuer Erfindung zu beschreiben; der folgende ist zuvörderst der von Kreil:

Beim Kreil'schen Anemographen hebt und senkt die Windfahne einen Bleistift vermittelst einer Schraube und einer Mutter, allein der Bleistift geht über die Grenze des Tableau's hinaus, wenn die Windfahne mehrere Umläufe nach einander macht, sowie dies von Zeit zu Zeit vorkommt. Kreil gibt dies mit bewunderungswürdiger Naivität zu; allein das hat ihn nicht verhindert, seinen Apparat zu veröffentlichen, es hat auch Schmidt nicht gehindert, die Beschreibung desselben mit sperrigen Figuren in seinem Lehrbuche der Meteorologie zu reproduciren, woselbst er als eines der nützlichen Dinge angegeben wird. „Man kann so, sagt Kreil, einen Theil der Aufzeichnungen verlieren, bis jetzt geschah dies nur selten und nur an windstillen Tagen.“ Wie weiss er es? Die Stärke des Windes wird bei Kreil durch einen Bleistift registrirt, welcher an einem Drahte angebracht ist, der mit einem Druckanemometer (Tafeln, welche der Wind hebt) zusammenhängt. Die beiden Bleistifte zeichnen neben einander auf ein Blatt Papier, das auf einem Rahmen aufgespannt ist, welchen ein Uhrwerk in horizontaler Richtung fortführt. Man könnte den oben angegebenen Missstand beseitigen, wenn man die Windfahne durch einen einfachen Schraubengang auf zwei Bleistifte wirken liesse, welche zwei Federn immer an die entgegengesetzten Enden des Schraubenganges zurückführen würden, wenn sie durch die Drehung ihren Angriffspunct verloren hatten. Der erste Bleistift würde steigen, wenn sich die Windfahne von Nord nach Ost drehte, und nach jedem Um-

gange würde er rasch zur markirten Linie $N$ zurückgehen; während dieser Zeit bliebe der andere Bleistift unbeweglich auf der zweiten Linie $N$, der oberen Grenze der Curven; dieser Bleistift würde seinerseits functionniren, wenn die Drehung von Nord nach West stattfände.

Der Anemograph von Jelinek besteht aus einer Yförmigen Windfahne und einer Spiralfeder, welche der Wind zusammendrückt. Die Windfahne versetzt einen hohlen Cylinder, der einen Bleistift trägt, um einen vollen Cylinder, welcher mit Papier überzogen ist, in Umdrehung; dieser letztere senkt sich langsam unter der Einwirkung eines Uhrwerkes. Die Feder wirkt durch einen Draht auf einen Hebel, welcher einen zweiten Bleistift in horizontaler Richtung auf einer Tafel fortführt, die sich vertical herabbewegt. Es ist dies das verbesserte Osler'sche Anemometer (?).

Der kleine Studienapparat, welchen Professor Parnisetti in der Italienischen Section ausgestellt hat, registrirt den vom Winde durchlaufenen Weg auf einer rotirenden Scheibe; der Bleistift bewegt sich vom Umfang nach der Mitte hin, die Stunden werden am Umfange der Scheibe markirt. Dieses System besitzt nichts Empfehlenswerthes.

In der vorletzten Versammlung der Brittischen Association (1866) haben Casella und Beckley einen Anemographen gezeigt, der nach ihrer Angabe sehr bequem und wenig kostspielig ist; allein nach der publicirten Notiz ist schwer zu errathen, um welches System es sich hier handelt. Sie wenden, sagen sie, das tap and dye principle an; auf einen Papierstreifen, auf welchem die Zeit gegeben ist, wird die Geschwindigkeit des Windes gravirt (embossed?) und die Richtung durch einen Pfeil aufgedruckt. Wäre dies vielleicht das folgende System?

Unter einem fixen Bleistifte wird ein Papierblatt in horizontalem Sinne fortgerückt; es wird von vorn nach rückwärts durch ein Uhrwerk gezogen, das auf dem gleichen Rahmen befestigt ist, und dieser Rahmen bewegt sich von rechts nach links unter der Einwirkung eines Robinson'schen Windflügels. Der Bleistift zieht so eine diagonale Curve, welche die Geschwindigkeiten erkennen lässt. Um den Bleistift wird durch die Windfahne ein horizontaler Pfeil gedreht, auf welchen ein Hammer in bestimmten Intervallen der Art schlägt, dass er sich in das Papier eindrückt. Man könnte auch das Papier nach einer Richtung hin und den Bleistift mit dem Räderwerke und dem

Pfeile nach der anderen Richtung hin in Bewegung setzen; die Windfahne würde auf den Pfeil durch eine cannelirte Stange wirken, deren Länge entlang sich der Bleistift bewegte.

Man könnte auch noch den Bleistift weglassen und nur den von der Windfahne eingestellten Pfeil beibehalten; dieser Pfeil würde sich in das Papier, das durch ein Uhrwerk fortgezogen wird, nach einer bestimmten Anzahl von Umläufen des Windflügels eindrücken; er würde die Richtung angeben und die Anzahl von in einer gegebenen Länge enthaltenen Pfeilen würde die Geschwindigkeit des Windes erkennen lassen. Ein an der Windfahne befestigter Woltmann'scher Flügel könnte das Eindrücken des Pfeiles bestimmen, indem er auf einen Draht oder auf einen in der Stange der Windfahne befindlichen Stempel wirken würde.

Würde man das Papier durch den Windflügel fortbewegen, indem man das Uhrwerk so einrichtete, dass es periodisch auf den Pfeil wirkte, so würde die Distanz der Pfeile die Geschwindigkeit der Luftströmungen angeben.

Es ist mir ein anderes System eingefallen, welches die Geschwindigkeit und die Richtung des Windes auf derselben Curve abzulesen gestatten würde. Die Windfahne stellt einen verticalen Cylinder ein, dem gegenüber ein Uhrwerk einen Bleistift herabsinken liesse, der von einer verticalen Stange geführt wird; dieser Bleistift zieht die Curve der Richtungen. Um die Geschwindigkeiten zu erhalten, genügt es, die Curve zu unterbrechen, oder eine Marke neben die Curve zu drucken, allemal wenn ein Robinson'scher Flügel eine bestimmte Anzahl von Umgängen gemacht hat; die Anzahl der zwischen zwei äussersten Stellungen des Bleistiftes enthaltenen Marken gibt den Weg, welchen der Wind im entsprechenden Zeitintervalle durchlaufen hat.

Zu diesem Behufe wickelt sich neben dem Drahte, der den Bleistift trägt, ein zweiter Draht von einer Walze ab, welche der des ersten Drahtes ähnlich und auf derselben horizontalen Axe befestigt ist; sowie dieser Draht einen Stoss erhält, bewirkt er, dass der Bleistift, welcher eine Feder an den Cylinder andrückt, zurückgeht; oder auch er stösst gegen den Cylinder einen zweiten Bleistift, der neben dem ersten angebracht ist und für gewöhnlich nicht zeichnet. Der Stoss wird auf folgende Weise bewerkstelligt: die Walze des zweiten Drahtes wird an der Rotationsaxe durch eine Feder befestigt, die ihr gestattet zurückzugehen, wenn sie auf ein plötzliches Hinderniss stösst;

die rückgängige Bewegung erzeugt der Stoss, das Hinderniss ist eine Wulst, die an einem der Räder des Anemometers angebracht ist.

Anstatt die Stösse durch einen Hilfsdraht hervorzubringen, wäre es einfacher, sie durch eine verticale Schiene zu bestimmen, die oben in ein horizontales Rad ausläuft, welches einen Umgang machte, wenn der Windflügel deren z. B. hundert zurücklegte. Jedesmal, wenn die Schiene den Hilfsbleistift träfe, würde dieser einen Punct neben die Curve der Richtungen machen. Man könnte sich sogar mit dem Bleistifte begnügen, der die Puncte macht, denn es ist unnöthig, die Richtungen der Luftströmungen zu markiren, deren Geschwindigkeit unmerklich ist. Man hätte so einen vollständigen Anemographen, der wenig kostspielig und leicht herzustellen wäre. Der Cylinder könnte von Holz sein und einen Durchmesser von nur 2 bis 3 Centimeter haben, was 6 bis 10 Centimeter Umfang für die Windrose geben würde. Eine Länge von $0^m,85$ würde zulassen, dem Bleistifte eine Fortbewegung von 5 Millimetern zu ertheilen, wenn man das Papier ein Mal in der Woche erneuern wollte. Ein Raum von 1 Centimeter würde dann einem Intervalle von zwei Stunden entsprechen. Ein frischer Wind legt 35 Kilometer in der Stunde oder 70 Kilometer in zwei Stunden zurück, welche auf einer Länge von 1 Centimeter durch sieben Marken dargestellt werden könnten, deren jede 10 Kilometern entspricht. Wenn die Windfahne oscillirt, so ist der Raum, auf welchen sich die Puncte vertheilen, beträchtlicher, weil die Linie sich dann in eine Curve abwickelt. Wird man nichts destoweniger finden, dass sieben Puncte auf 1 Centimeter nicht leicht genug ablesbar seien, so könnte man jeder Marke den Werth von 20 Kilometern geben. Ein Windflügel von 1 Meter Durchmesser macht einen Umgang, während der Wind nahe 10 Meter durchläuft, oder auch 100 Umgänge für einen Kilometer, man würde also eine Marke nach 1000 oder 2000 Umgängen des Windflügels erhalten. In diesem Verhältnisse muss man die Drehung des Windflügels verlangsamen, indem man sie auf den Mechanismus überträgt, welcher die Marken erzeugt. Ich glaube, dass die Unkosten der Construction dieses Anemometers wenig bedeutend sein würden.

Um nun diese lange Aufzählung von meteorographischen Apparaten zu beschliessen, will ich nur noch die Ombrometer erwähnen, welche die Regenmenge messen, die diesem oder jenem Winde entspricht. Bei der Ombrometer-Windfahne von Legeler (1837) dreht

sich das Reservoir mit der Windfahne der Art, dass eine Ausflussröhre über eine Reihe von Glascylindern sich hinbewegt, in welche sich das aufgefangene Wasser ergiesst. Jeder Glascylinder entspricht einem bestimmten Winde, und man weiss so, wie viel Wasser jeder Wind gebracht hat. Ausserdem erzeugt ein an der Basis der verticalen Stange befestigter Hacken in einem kreisförmigen, mit Sand gefüllten Troge eine Rinne, welche die Oscillation der Winde erkennen lässt. Dieser Apparat ist übrigens nur eine Modification von denjenigen, welche von Knox und Flaugergues vorgeschlagen worden sind. Man findet dieselbe Einrichtung beim „anemometrischen Pluviometer" von du Moncel, wo die Glascylinder durch eine kreisförmige Zinkschale ersetzt sind.

Ich unterlasse es hier die einfachen Ombrometer (Hyétometer, Udometer, Pluviometer, Pluvioscope etc.) zu beschreiben, welche nur dazu dienen, die Regenmenge ohne Unterscheidung der Winde, welche sie herbeigeführt haben, zu messen; die bekanntesten sind die von John Taylor, Horner, Kreil, Babinet, Hervé, Mangon etc.

Es ist klar, dass die oben auseinandergesetzten Principien auf die Registrirung der meisten meteorologischen Phänomene angewendet werden könnten; allein was zu thun übrig bleibt, besteht darin, über ein gleichförmiges System übereinzukommen, welches von allen Observatorien adoptirt werden könnte. Würden an einer grossen Anzahl von Stationen die atmosphärischen Verhältnisse in continuirlicher Weise durch Mechanismen registrirt, die überall nach den gleichen Principien ausgeführt wären, dann könnte man endlich daran denken, die Archive der Witterung herzustellen, und die Meteorologie würde vielleicht eine exacte Wissenschaft werden.

---

## Die Kravogl'sche Quecksilberluftpumpe.

Wir entnehmen die Beschreibung dieses Apparates dem „Berichte über die physikalischen und mathematischen Instrumente auf der Pariser Weltausstellung 1867" von Prof. Dr. Pisko, dessen Güte wir auch die auf Tafel XXII Figur 1 dargestellte Zeichnung dieses Apparates verdanken.

Während bei den eigentlichen Quecksilberpumpen jeder Kolben wegfällt, hat Kravogl den Kolben seiner Luftpumpe mit Quecksilber

überdeckt und zum Theil umgeben, um so durch diese Flüssigkeit in den schädlichen Raum zu dringen und diesem siegreich beizukommen. Kravogl (Innsbruck) lässt nämlich bei seiner Luftpumpe einen Stahlcylinder (Kolben) von unten her in einen gläsernen Stiefel treten und treibt ihn mittelst eines trefflich gearbeiteten Mechanismus in die Höhe, derart, dass dieser Kolben zuletzt den ganzen Stiefel erfüllt. Ein kleiner Raum, der sich am Stiefel oben verjüngt und dessen Form nahezu der des Halses einer gewöhnlichen Glasflasche gleicht, ist dann mit jenem Quecksilber gefüllt, welches vorher auf den Stahlcylinder gebracht wurde. Jener Stahlkolben bewegt sich sehr leicht im Stiefel, da er an letzteren nicht genau schliesst und nur in der Eintrittsstelle luftdicht liedert. Den kleinen Raum zwischen dem Stahlstempel und dem Glasstempel erfüllt ebenfalls das Quecksilber. Beim Hinaufgange jenes vom Quecksilber umspülten Stahlkolbens entweicht die Luft durch die Oeffnung im Halse des Stiefels. Der Druck der Luft hebt nämlich hier ein stählernes Zapfenventil, welches sonst diesen Hals des Stiefels schliesst. Beim Zurücktreiben des Kolbens sperrt das im Halse des Stiefels spielende Ventil die Mündung, und etwas Quecksilber, welches vorhin durch die Oeffnung in die trichterförmige Erweiterung des Halses getreten war, bleibt oberhalb des Ventils. Es entsteht nun im Stiefel ein luftverdünnter Raum so lange, bis der abgerundete Kopf des Kolbens im unteren Theile des Stiefels an einem Tubulus vorbeigekommen ist. Sobald dies geschehen, bewirkt eine Selbststeuerung die Oeffnung einer Röhre, die jenen Tubulus mit dem Recipienten verbindet. Die Luft dringt aus letzterem in den Stiefel, um von hier beim Aufgang des Kolbens wieder durch den Hals des Stiefels in's Freie getrieben zu werden. In solcher Weise wiederholt sich das Spiel und es ist nur noch zu bemerken, dass beim jedesmaligen Aufgang des Kolbens das im oberen, kleinen Trichter zurückgebliebene Quecksilber durch die vom Ventil gelüftete Halsöffnung zum anderen Quecksilber niederfällt. Beim Niedergehen des Kolbens tritt die im Quecksilber und am Glase haftende Luft in den luftverdünnten Raum, um dann hinausgeschafft zu werden. Die Verdünnung kann in solcher Weise nach Professor v. Waltenhofen bis unter Ein Millimeter getrieben werden. Ja noch weiter und fast bis an ein Vacuum, welches das electrische Licht nicht mehr durchlässt, wenn man zuletzt das Trichterchen ober dem Zapfenventil in einen vorher ausgepumpten Ballon münden lässt. Durch diesen von Reg-

nault zuerst angewendeten Kunstgriff ist die saugende Wirkung des zweiten Stiefels bei der Babinet'schen Pumpe ersetzt. Kravogl's Pumpe hat in Paris, sowohl was die Idee als ihre glückliche Verwirklichung betrifft, das Interesse und den ungetheilten Beifall aller Fachmänner erregt. Es ist zwar nicht das erste Mal, dass man Quecksilber bei Luftpumpen mittelst Kolben hebt und senkt; in so sinnreicher Form und mit so befriedigendem Erfolge aber geschah es noch nie.

---

## Die akustischen Apparate.

Von Prof. Dr. Pisko.[1])

Die mächtige Bereicherung der Schall-Lehre seit ihrer Vermählung mit der Optik und der Hereinziehung electro-magnetischer Mittel, sowie einer glücklichen Anwendung der „Resonanz" und „Stösse" wurde in imponirender Weise durch Rudolph König (Paris) vor das Auge gebracht. Schon im Jahre 1862 hatte dieser vom Forschergeist beseelte Constructeur akustischer Apparate die Aufmerksamkeit aller gelehrten Besucher der Londoner Weltausstellung auf sich gelenkt und Hoffnungen erweckt, die wir heute in hohem Grade erfüllt sehen. Wir erinnern daran,[2]) dass König damals die für die Helmholtz'sche Theorie des Klanges so wichtigen Resonatoren brachte; ferner seine Pfeifen mit Flammenzeigern sowie die Membran- und Stimmgabel-Phonautographen, und zwar letztere für die parallele und rechtwinklige Combination nebst Vorrichtungen behufs Darstellung der Lissajous'-schen Lichtfiguren. Auch zeigte König damals ein werthvolles, systematisch geordnetes Gedenkbuch akustischer Tonschriften; Wheatstone's Kaleidophon in einer Form, die demselben einen wissenschaftlichen Werth sicherten und Terquem's Stäbe, welche eine von Seebeck (1849) gegebene Theorie hinsichtlich der alternirenden Knotenlinien an longitudinal erregten, rechteckigen Stäben demonstrirten und in letzter Instanz auf die Theorie der Resonanz in einem und demselben Körper führten. Endlich war noch in London der

---

1) Pisko, Bericht über die physikalischen und mathematischen Instrumente auf der Pariser Weltausstellung 1867, pag. 105 ff.

2) Oesterreichischer Bericht über die internationale Ausstellung in London 1862, Seite 400.

„Scheibler'sche Stimm-Apparat“ in drei Normal- und eben so viel minder feinen Exemplaren, je nach der Stimmung bei den Deutschen, Engländern und Franzosen von $a^3$ bis $a^5$, [1]) mittelst 13 Gabeln fortschreitend, und ein „Scheibler'scher Tonmesser“ mit 65 Stimmgabeln von $c^3$ bis $c^4$.

Bei der gegenwärtigen Ausstellung erscheinen zunächst mehrere der genannten Objecte bedeutend verbessert. Die Holzgestelle der meisten Apparate sind netten, gusseisernen Trägern, von durchbrochener Arbeit gewichen, was für die Schreib-Apparate mit der parallelen oder senkrechten Combination noch den Vortheil hat, dass man die auf den Glasstreifen hervorgerufenen Tonschriften einem Publikum projiciren kann, indem hier die Glasstreifen ungedeckt im eisernen Rahmen liegen. Ueberdies sind bei diesen sicherer ruhenden Trägern Störungen in der Reinheit der Schwingungen und mithin der Tonschriften weniger zu fürchten als ehedem. Die grösseren Stimmgabeln sind an der Seite mit messingenen Mikrometerschräubchen behufs einer genauen Rectificirung versehen. Um die neue Theorie des Klanges zu stützen, stellt König Gabeln von solcher Tonhöhe auf entsprechende Resonanzkästen, wie sie bei der Construction des Helmholtz'schen Vocal-Apparates verwendet werden. Diese Gabeln einmal angestrichen, tönen geraume Zeit. In Ermangelung des theuern Vocal-Apparates kann man mit diesen Gabeln zeigen, dass das Ohr wirklich nur einen Klang hört, wenn die Gabel mit dem Grundton sowie jene mit den entsprechenden Obertönen gleichzeitig schwingen, dass der Klang angenehmer und voller wird, je mehr Obertöne mitwirken, dass aber diese schöne Harmonie sogleich aufhört, sobald die beigegebene, nicht harmonisch gestimmte Gabel angeregt wird. Dass die höher gestimmten Gabeln wirklich noch tönen, wenn man je einen Klang zu vernehmen glaubt, wird durchs Dämpfen der tiefsten Gabel nachgewiesen — man berührt letztere mit der Hand und bringt sie so zum Schweigen — jetzt erst hört man die anderen Gabeln wieder.

---

1) Wir bedienen uns hier der von Sondhaus vorgeschlagenen, sehr rationellen Bezeichnungsweise für die Töne, welche sich zur gewöhnlichen deutschen und französischen Bezeichnung, wie folgt, verhält:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sondhaus: | $c^{-3}$ | $c^{-2}$ | $c^{-1}$ | $c^{-0}$ | $c^{1}$ | $c^{2}$ | $c^{3}$ |
| Deutsche Zeichen: | $\underline{\underline{C}}$ | $\underline{C}$ | C | c | $\overline{c}$ | $\overline{\overline{c}}$ | $\overline{\overline{\overline{c}}}$ |
| Französische (König:) | $ut_{-2}$ | $ut_{-1}$ | $ut_1$ | $ut_2$ | $ut_3$ | $ut_4$ | $ut_5$ |

Der „Tonmesser" nach Scheibler wurde diesmal so erweitert, dass er 10 Skalen von $c^{-3}$ bis $c^6$ umfasst. Daran schliessen sich dann noch Stäbe, welche die hohen Schwingungszahlen bis über die Grenzen ihrer Hörbarkeit verfolgen. Bei der Anfertigung dieses ersten, einzigen und daher merkwürdigen Werkes ging König von seinem aus 65 Stimmgabeln bestehenden Tonometer aus, der von $c^1$ bis $c^2$ (von 512 bis 1024 einfachen Schwingungen) derart fortschreitet, dass je eine der Gabeln von den beiden angrenzenden um acht einfache Schwingungen absteht, mithin mit beiden Nachbaren vier Stösse giebt. Um für die vier nächsten tieferen Skalen einen bequemen Tonometer zu erhalten, der nicht zu viele Gabeln aufweisen sollte, fertigte König 8 grosse Gabeln mit Schiebern und Spiegeln derart, dass je 2 Gabeln ein Tonometer für die betreffende Skale abgeben und zusammen 64 Töne umfassen. Jede der 64 Noten hat auf den Gabeln ihren Strich als Marke, und daneben die Schwingungszahl fein eingeschlagen. Das an jeder der Zinken befindliche, verschiebbare Gewicht stellt die gewünschte Note her. Der Spiegel dient zur Verification nach der Lissajous'schen Methode und befindet sich an der Stellschraube des einen Laufgewichtes. Betrachten wir diese Partial-Tonometer des ganzen grossen Werkes etwas näher:

Zwei grosse Stimmgabeln von $c^1$ bis $c^0$, das ist von 512 bis 256 einfachen Schwingungen hinabsteigend, mit 64 Marken zusammen. Die entsprechenden 64 Töne stehen je um vier einfache Schwingungen von einander ab, geben mithin als unmittelbare Nachbarn je zwei Stösse miteinander.

In ähnlicher Weise verhält es sich mit den beiden Stimmgabeln von $c^0$ bis $c^{-1}$, das ist für Schwingungen von 256 bis 128. Die entsprechenden 64 Töne differiren je um zwei einfache Schwingungen von einander und geben einen Stoss in der Secunde.

Zwei Stimmgabeln von $c^{-1}$ bis $c^{-2}$ (von 128 bis 64 einfache Schwingungen). Die Töne differiren nur um je eine einfache Schwingung. Je zwei benachbarte Töne geben hiernach je zwei Secunden einen Stoss.

Zwei Stimmgabeln von $c^{-2}$ bis $c^{-3}$ (von 64 bis 32 einfachen Schwingungen) mit dem Unterschied einer halben einfachen Schwingung von Ton zu Ton und dem entsprechend mit einem Stoss nach je 4 Secunden. Dies ist der von $c^1$ absteigende Theil des ganzen Tonometers.

Da von $c^1$ aufsteigend die Gabeln rasch kleiner werden, so hat König es vorgezogen, für jeden Ton eine eigene Gabel zu construiren, und zwar:

64 Gabeln (mit der Grundgabel 65) für die Töne von $c^1$ bis $c^2$ (512 bis 1024 einfacher Schwingungen) als Ausgangspunct des ganzen Tonometers; ist bereits oben besprochen.

86 Gabeln für die Töne von $c^2$ bis $c^3$ (1024 bis 2048 einfachen Schwingungen) mit einer Differenz von je zwölf einfachen Schwingungen vorschreitend. Jede der Gabeln gibt demnach mit den unmittelbar benachbarten sechs Stösse in der Secunde, das ist drei Stösse in der halben Secunde.

172 Gabeln für die Töne von $c^3$ bis $c^4$ (2048 bis 4096 einfachen Schwingungen); im Uebrigen wie vorhin.

Da für die Töne von $c^4$ bis $c^5$ (von 4096 bis 8192 einfachen Schwingungen) beim Festhalten der angenommenen Differenz 354 Gabeln erforderlich gewesen wären; so nahm König jetzt zu den Longitudinal-Schwingungen seine Zuflucht. Er wurde hiezu noch durch den Umstand getrieben, dass die betreffenden Gabeln, wenn sie gut klingen sollen, dick angelegt werden müssen und daher schon durch die Stahlmasse, mehr aber noch die schwierige Arbeit zu hoch im Preise kämen.

Ein Stahlstab von nahezu 125 Centimeter eröffnet nun eine Reihe von 86 Stahlstäben, welche für die Töne von $c^4$ bis $c^5$ bestimmt sind, im umgekehrten Verhältnisse der Länge zur Höhe des Tones stehen und mit einem Stabe von nahezu 62.5 Centimeter Länge schliessen. Bei der longitudinalen Erregung werden diese Stäbe in der Mitte zwischen zwei Fingern gehalten und der Länge nach gerieben.

Hiemit enden die in unserer Musik gebrauchten Töne. Aus rein wissenschaftlichem Interesse war nun König bemüht, diese Reihe der Stäbe durch weitere Kürzung fortzusetzen für die Töne, welche zwischen $c^5$ und $c^8$ (8192 und 65536 einfachen Schwingungen) liegen. Dabei wurde natürlich das Gesetz im Auge behalten, dass die Länge des Stabes in demselben Verhältnisse abnehme, wie die Höhe des Tones wächst. In Folge dessen wurden aber die Stäbe zwischen $c^5$ und $c^6$ (8192 und 16384 einfache Schwingungen) bereits so kurz, dass die Erregung durch Reiben nicht mehr möglich ist. Es werden daher die kurzen Stäbe in der Mitte aufgehängt oder noch besser unterstützt und durch Anschlag in der Längenrichtung mittelst eines anderen

Stabes derart longitudinal erregt, dass der Transversal-Ton eliminirt erscheint. Indessen ist es immerhin bei diesen kurzen Stäben bequemer sie transversal zu erregen, indem man sie an beiden Knoten unterstützt und in der Mitte anschlägt.

Behufs der Aufsuchung der oberen Grenzen der Schwingungsanzahl der noch hörbaren Töne schliessen sich nun an den obigen Tonometer (auch getrennt verkäuflich) folgende Reihen kurzer Stahlstäbe für die transversale Erregung der Töne:

a) $c^5$ $e^5$ $g^5$.
b) $c^6$ $e^6$ $g^6$.
c) $c^7$ $e^7$ $g^7$ und $c^8$.

Die Fähigkeit des Hörens von $c^7$ verschwindet im höheren Alter und $g^7$ bildet die allgemeine Grenze der Hörbarkeit. In der That war keiner der vielen Besucher der König'schen Exposition im Stande einen Ton wahrzunehmen, wenn das zu $g^7$ gehörige Stahlstäbchen transversal erregt wurde.

So hat denn König hiemit ein Werk zur Ausstellung gebracht, wie nie ein Akustiker vor ihm und nicht leicht nach ihm. Es ist hiemit nicht zu viel gesagt, wenn man die Mühen und Plagen bedenkt, welche die Anfertigung und genaue Stimmung von 330 Gabeln und 96 richtig gemessenen Stäben verursacht, wenn man ferner erwägt, dass die acht tiefen Gabeln eigentlich 512 Stimmgabeln vertreten und auch demgemäss die Arbeit des Stimmens in Anspruch nahmen, so dass der Aussteller eigentlich 838 Gabeln für die entsprechenden Töne richtig stellen musste. Erinnert man sich nun, dass, sobald die Gabeln durch das Feilen warm geworden sind, die Arbeit verschoben werden muss, denkt man ferner an die erforderliche Vorsicht, sobald man dem Tone nahe gekommen ist u. s. w. u. s. w.; so erklärt sich König's Ausdauer nur durch sein hohes Interesse für die Wissenschaft.

Eine Copie dieses grossen Werkes ist jetzt nicht mehr so schwierig.[1]) König selbst wird bei seinen vielen akustischen Arbeiten die Früchte

1) Als Leitfaden für jene, welche dieses merkwürdige Stimmgabelwerk in der Ausstellung gesehen haben oder noch sehen werden, mag dienen: Die 8 grossen Stimmgabeln für die Töne von $c^{3}$- bis $c^{1}$ befinden sich in einem eigenen, schmalen und entsprechend hohen Glaskasten.

Im Glaskasten links vom Beschauer stehen in den unteren drei Reihen die 65 Gabeln für die Töne von $c^1$ bis $c^2$; sie bildeten die Grundlage des ganzen Systems.

Die oberen 3 Reihen in demselben Kasten gehen von $c^2$ bis $c^3$.

Die 172 Gabeln im Kasten rechts, in 5 Reihen aufgestellt, reichen von $c^3$ bis $c^4$.

seines Fleisses geniessen. Mit Leichtigkeit kann er jetzt jeden Ton innerhalb der 10 Skalen von $c^{-3}$ bis $c^{6}$ stimmen und bestimmen, was mittelst des Monochordes wegen der allzugrossen Kürze der Saiten bei den höchsten Tönen unmöglich und mittelst der Sirenen mindestens schwierig ist, wenn man die erforderliche hohe Spannung des Gebläses und das Heisswerden der Axen berücksichtigt.

Es wurde oben angedeutet, warum König bei $c^{4}$ den Weg der Gabeln verlassen und zu den Stäben übergegangen ist. Die Gabeln wären zuletzt zu dick und zu theuer geworden. Marloye will, wenn auch durch nur wenige Zwischenstufen, mit Stimmgabeln bis zu 64000 einfachen hörbaren Schwingungen herabgekommen sein; es ist dies aber nicht möglich, weil nach den oben erwähnten genauen Arbeiten König's zwischen 45000 und 50000 einfachen Schwingungen die allgemeine Grenze der Hörbarkeit liegt, die für das höhere Alter bis gegen 32000 einfache Schwingungen herabrückt.

In der That ist Marloye's, in der Sorbonne bewahrte Stimmgabel, welche jene 64000 einfache Schwingungen in der Secunde geben sollte, nur ein Stückchen Stahl mit einem kleinen Schlitz. Mittelst des resultirenden Tones zweier Stimmgabeltöne vermag man übrigens nach König auch in den hohen Skalen zu stimmen; das Nähere hierüber liegt ausser den Grenzen dieses Berichtes und wir werden anderswo darauf zurückkommen.

Ferner sind aus König's Ausstellung herauszuheben: Der Vocal-Apparat nach Helmholtz zur Synthese der Vocalklänge; das Vibrations-Mikroskop nach Lissajous; grosse Sirene mit Uhrwerk nach Seebeck; Kapsel-Sthetoscop für einen oder mehrere Horchende; 5 Stimmgabeln für die verschiedene Mundform beim Lauten der einfachen Vocale abgestimmt, derart, dass der Ton einer jeden derselben mächtig verstärkt wird, sobald man vor ihr den entsprechenden Vocal lautet; Holz- und Metallplatten zur Wheatstone'schen Theorie der Chladni'schen Klangfiguren; Melde's Stimmgabel-Apparat zum Erzeugen von Schwingungen an fadenförmigen Körpern; Apparat nach Wheatstone, um die rechtwinkelige Zusammensetzung der geraden Schwingungen zu demonstriren und ein ähnliches Instrument für die Com-

---

Die an diese sich schliessenden 86 Stäbe liegen aus Mangel an Raum unter dem verdeckten Tisch.

Die kleinen Stäbe für die Töne von $c^{7}$ bis $c^{8}$ liegen auf dem Tische und sind an den Aufhängefäden leicht zu erkennen.

bination elliptischer Schwingungsbewegungen; „Pfeifen mit Kapseln und Brennern für Flammenzeiger," um das Phasen- und Tonverhältniss der Luftschwingungen in zwei gemeinschaftlich angeblasenen Pfeifen zu zeigen nebst analysirendem Rotationsspiegel; „Klang-Analysator", bestehend aus 8 Resonatoren nebst zugehörigen 8 Kapseln und Brennern für die Flammenzeiger und einem rotirenden auflösenden Spiegel. Wir haben diese Apparate bereits anderwärts besprochen,[1]) und es wird daher genügen, hier nur der Veränderungen an diesen Instrumenten zu gedenken. Was zunächst die analysirenden Spiegel betrifft, so bestehen diejenigen, welche sich auf der Ausstellung befinden, aus platinirtem Glase nach dem Verfahren Dodé's. Sie geben nur ein Bild, können leicht geputzt werden, oxydiren nicht und lassen sich gut einrahmen. Auch die Lissajous'schen Stimmgabeln und die projicirenden Wheatstone'schen Stäbe werden jetzt mit solchen Platinglasspiegeln versehen.

In jüngster Zeit bringt König die Lissajous'schen Spiegel an den Gabeln so an, dass ihre Ebene senkrecht zur Axe der Gabel gerichtet ist und mit dem freien Querschnitte der anderen Zinke in einerlei Ebene liegt. Der Spiegel gehört also wesentlich zur Gabel. Die netten Träger der Spiegel sind aus Gusseisen und haben einen festen Stand. Um von der parallelen Combination zur senkrechten überzugehen, braucht man nur eine der Gabeln um einen Viertelkreis zu drehen.

Für die Klangplatten bringt König neue, gusseiserne Klemmvorrichtungen. Sie haben nahezu die Form eines Biegeleisens und sind so gewichtig, dass sie auf der breiten Basis fest stehen. Von der oberen Fläche dieses Fusses und von der Handhabe gehen die haltenden Korke gegen einander. Für sehr grosse Platten sind derartige Halter besonders bequem und sie fixiren selbstverständlich auch die Durchschnittspunkte der Knotenlinien.

Der grossen Seebeck'schen Sirene hat König diesmal eine schönere und bessere Form gegeben. Die Scheiben liegen wagrecht, das Uhrwerk arbeitet geräuschlos. Mittelst eines Registers kann auf demselben Kreise durch 1, 3, 6 oder 12 Löcher geblasen werden, und mittelst der Regierung der Tasten lassen sich 8 Kreise gleichzeitig wirksam machen. In ähnlicher Weise wurde die grosse vielstimmige

1) S. Pisko Dr. Fr. J. die neueren Apparate der Akustik. Wien 1865.

Sirene nach Helmholtz eingerichtet. Es können gleichzeitig 8 Töne im oberen und eben so viel im unteren Theile hervorgerufen werden.

Die Kapsel der Flammenzeiger hat König bei allen seinen Apparaten, welche aus einem gemeinschaftlichen Gasbehälter gespeist werden (Interferenz-Pfeifen, Klang-Analysator mittelst Resonatoren u. dgl. m.) mit einer Hilfskapsel versehen. Bei dieser weicht eine fein gespannte Kautschukmembrane dem Druck des von der Hauptmembrane zurückgepressten Gases. Letzteres gewinnt also Raum, gelangt daher nicht in den gemeinschaftlichen Behälter, von wo es störend auf die anderen Kapseln wirken müsste.

König wendet nun auch 2 solche Kapseln und 2 Resonatoren (für den Grundton und für den gesuchten Ton) zum Stimmen an.

Sehr wichtig für die neue Theorie des Klanges und ebenso interessant ist der einfache Vocal-Analyseur mittelst eines Flammenzeigers von König. Eine König'sche Glaskapsel mit einem Flammenzeiger communicirt mit einem kleinen Blechtrichter. In diesen werden bei der weiteren Oeffnung die Vocale gesungen, während der analysirende Platinglasspiegel rasch gedreht wird. Man erblickt der Theorie gemäss beim A periodisch eine reiche Gruppe von Flammenbildern, entsprechend den vielen harmonischen Obertönen, welche den Grundton des A begleiten; beim O derselben Note eine minder flammenreiche Gruppe u. s. w. Interessant ist das rasche Wechseln im Flammenreichthum, wenn man schnell die Vocale tauscht und die entsprechenden Zwischenstufen, wenn man Nuancen wählt, z. B. einen Vocal zwischen A und O, etwa wie der Wiener das A in Vater lautet u. dgl. m.

Der Reichthum der Gruppen an Flammen wird geringer, je höher man den Ton für einen und denselben Vocal wählt. Singt man das A von $c^{-1}$ bis $c^{1}$, mithin durch zwei Skalen, so enthält selbst für diesen Vocal die Gruppe zuletzt nur zwei, aber scharf begrenzte Flammen. Das U in der Höhe des $c^{-1}$ gesungen, zeigt eine Gruppe mit vier nicht ganz aufgelösten Flammen nebst zwei kleineren, ziemlich scharf getrennten Flammen. Das zum I gehörende Flammenbild lässt sich wegen der zu hohen Obertöne selbst bei $c^{-1}$ nicht auflösen. König hat durch einen geschickten Maler für jeden Vocal die 15 Bildergruppen aufnehmen lassen, welche den einzelnen Noten zwischen $c^{-1}$ bis $c^{1}$ zukommen und wird dieselben nächstens der Pariser Akademie vorlegen. Eine getreue Copie dieser Bilder kann man von König beziehen.

Zur Demonstration der Interferenz des Schalles verwendet König das Princip, wie es zuerst von Nörrenberg und Kane ausgedacht wurde, aber mit den sinnreichen Modificationen von Zoch.[1]) Der Apparat ist sehr nett aus verschiebbaren Messingröhren verfertigt und zum Verlängern und Kürzen der Luftsäulen eingerichtet. Die Interferenzerscheinung kann auch sehr auffallend an einer Flamme gezeigt werden. Ein Ansatz gestattet ferner die Erscheinung direct mit dem Ohre wahrzunehmen. Die Pfeife kann abgenommen und die frei werdende Stelle mit zwei krummen Röhrenansätzen versorgt werden, wodurch es möglich wird, die Interferenz mittelst tönender Platten hervorzurufen. Je ein Hahn an der Seite der Röhren gestattet das Experimentiren mit verschiedenen Gasen und die Messung der Schallgeschwindigkeit in denselben nach Zoch (a. a. O.).

König hat ferner zwei „Stimmgabel-Chronographen" ausgestellt. Bei dem einen derselben wird eine zeitmessende Stimmgabel wie beim Helmholtz'schen Vocal-Apparat dadurch schwingend erhalten, dass sie zwischen intermittirenden Elektromagneten steht. Die Unterbrechung und Wiederherstellung des Magnetismus in den letzteren geschieht (wie beim Vocal-Apparat) mittelst einer unisonen Stimmgabel, welche wie der Anker beim Wagner-Neef'schen Hammer in Schwingung erhalten wird. Wenn man diese Gabel stark genommen hat, so ist die Genauigkeit der Zeitmessung genügend gesichert. Die zeitmessende Gabel trägt ein elastisch-biegsames Federchen, welches auf einem berussten, wie beim Morse'schen Telegraphen abgewickelten Papierstreifen, seine Schwingungen radirt (Stimmgabel-Phonautograph). Auf je einer Seite dieser zeitmessendenGabel sind die elektromagnetisch wirkenden Zeichenbringer hinsichtlich der zu beobachtenden Erscheinung angebracht. In solcher Weise war der akustische Chronograph Regnault's eingerichtet, dessen er sich bei seinen jüngsten, in Bälde erscheinenden umfassenden Studien über die Geschwindigkeit des Schalles bediente. Die Stifte der Zeichenbringer lagen immer auf dem berussten und vorwärts gezogenen Papierstreifen und wurden beim Zeichengeben augenblicklich nach der Seite gezogen. Ein Querstrich bildete demnach die Marke. Es wurde nämlich das Heben und Senken des Signalstiftes wegen des Zeitverlustes vermieden. Zur Controle der zeitmessenden Stimmgabel markirte auch ein Secundenpendel seine

1) Poggendorff's Annalen, 1866. CXXVIII, S. 497 u. s. f.

Schwingungen, so dass erstere eigentlich nur die Bruchtheile der Secunden zu messen hatte.

Der zweite Stimmgabel-Chronograph König's soll ohne Elektricität wirken und ist äusserst sinnreich eingerichtet. Bei jedem derartigen Chronographen muss die Stimmgabel fortdauernd schwingen und ihre Zinken dürfen nicht über die Grenze der Elasticität beim Erregen geführt werden; wie erreicht dies König ohne galvanischen Strom? Auf einem gemeinsamen eisernen Gestelle bringt er zwei genau über einander im Einklange stehende Stimmgabeln an. Er streicht nun die obere Gabel an und ist sicher, dass die untere, mit einem Schreibstiftchen versehene Gabel durch die Resonanz ins Mitschwingen geräth. Da diese Gabel hiebei nur den Gesetzen ihrer Elasticität folgt, so wird sie nie die Grenze der letzteren überschreiten. Die Fortdauer der Schwingung wird durch zeitweises Anstreichen jener Hilfsgabel erzielt. Um zu erfahren, wie viele Schwingungen diese schreibende Stimmgabel in einer Secunde macht, befindet sich neben ihr auf demselben eisernen Gestelle eine zweite Gabel, welche mittelst eines Stimmschräubchens dahin gebracht wird, 8 einfache Schwingungen in der Secunde mehr oder weniger als die erste Gabel zu geben. Wenn also die beiden Gabeln gleichzeitig tönen, so müssen 4 Stösse in der Secunde zu hören sein. Ist dies der Fall, so lässt man beide Gabeln gleichzeitig auf berusstem Papier schreiben und ermittelt die Schwingungsanzahl der zeitmessenden Gabel hinsichtlich einer Secunde. Obwohl nun jene zeitmessende Gabel ursprünglich von König so gestimmt wurde, dass sie 200 Schwingungen per Secunde gibt, so muss wegen der verändernden Einflüsse jedesmal mittelst der durch Schräubchen stimmbaren Stimmgabel die eben erwähnte Verification vorgenommen werden. Uebrigens kann auch der erste Chronograph seiner Elektromagnete entkleidet und wie der letztere wirksam gemacht werden. Beide akustische Chronographen lassen sich ausserdem auf ihrem Gestelle in einem Bogen von 90° bewegen und die Gabeln kann man so stellen, dass ihre Marken auch auf dem berussten Mantel eines Cylinders erscheinen. Der Träger der Stimmgabeln hat Aehnlichkeit mit dem des bereits bekannten König'schen Membran-Phonautographen, nur ist er feiner und zierlicher.

Sehr instructiv und empfehlenswerth für Schulen ist der von König ausgeführte einfache Crova'sche „Wellen-Apparat". Derselbe dient zur Demonstration aller Schwingungen, welche die Haupt-

erscheinungen der Schall- und Lichtlehre bewirken. Auf geschwärzten, kreisförmigen Glasscheiben sind die Trochoïden (die den Formeln für die Schwingungen entsprechenden Krummen) radirt, so dass sie durchsichtig erscheinen. Hinter der Scheibe ist ein Schirm mit einer schmalen Spalte angebracht. Beim Umdrehen der Scheibe treten an ihrer Vorderseite, bei der licht bleibenden Spalte die Schwingungserscheinungen auf. Für jede Gruppe der letzteren bringt man eine andere, entsprechend hergerichtete Scheibe an das einfache Drehwerk. Die Ebene der geschwärzten Glasscheibe steht dann stets lothrecht und also auch die hinter derselben befindliche Spalte. Behufs der Demonstration der Interferenz wird ein Schirm mit zwei Spalten oder es werden die Billet'schen Halblinsen schwingend angewendet. Die betreffenden Erscheinungen können mittelst eines Dubosq'schen Projections-Apparates einer grossen Versammlung ersichtlich gemacht werden.

Hiemit endet die grosse Reihe der neuen von König ausgestellten Apparate. In seinem Atelier sahen wir noch: Eine Vorrichtung, womit König in dem langen Canal unterhalb des Boulevard St. Michel in Paris nachgewiesen hat, dass die tieferen Töne in der atmosphärischen Luft schneller fortschreiten als die höheren. Mittelst eines gemeinsamen Mundstückes wurden eine tiefere und eine höhere Pfeife mit aufschlagender Zunge und Schalltrichter angeblasen. In grösserer Entfernung horchte der Beobachter mittelst eines Röhrenstückes, in welches eine grössere Anzahl von Resonatoren mündete. In solcher Weise hat auch König erfahren, dass von dem tiefen Ton einer Zungenpfeife zuerst der Grundton, dann nacheinander die drei ersten Obertöne ankamen und zuletzt fast gleichzeitig und verwirrt die übrigen Obertöne. Angeregt zu diesen Versuchen wurde König von Regnault, der bei seinen Studien über die Schallgeschwindigkeit zu derartigen Fragen gedrängt worden war.

Ferner sahen wir bei König die Kundt'sche Röhre, „um eine neue Art akustischer Staubfiguren hervorzurufen"[1]) und die ebenso einfache als sinnreiche Vorrichtung Kundt's, „um die Schwingungsform tönender Platten durch Spiegelung"[2]) beobachten zu können.

Der Mechaniker Wesselhöft (Riga, Russland) brachte das vom Professor Töpler erfundene „Universal-Vibroskop". Beobachtet

1) Poggend. Annal. 1866. CXXVII, S. 497.
2) Poggend. Annal. 1866. CXXVII, S. 610.

man einen schwingenden Körper durch eine rotirende stroboskopische Scheibe, d. i. durch eine Kreisscheibe mit von einander gleich weit entfernten, in einer Peripherie liegenden Sehlöchern, so wird das Auge, während ein undurchsichtiger Theil der Scheibe an demselben vorbeigeht, die entsprechende Schwingungsphase verlieren. Hingegen werden sich vermöge der Nachdauer der Netzhautbilder (wie bei den bekannten Müller'schen Wellenscheiben) die gesehenen Schwingungsphasen zu scheinbaren Schwingungsformen zusammensetzen. Man kann demnach durch Regulirung der Geschwindigkeit der umlaufenden Scheibe die Schwingungen scheinbar so verlangsamen, dass man dieselben bequem beobachten kann. Zum Umdrehen der Scheibe dient ein Uhrwerk, und zum Wechseln der Geschwindigkeiten kleinere, mit einem Einschnitte versehene Gewichte, welche zum treibenden Gewichte gelegt oder von demselben entfernt werden können. Die Geschwindigkeit der umlaufenden Scheibe wird nach der Höhe des Tones geschätzt, den sie beim Anblasen ihrer Löcher durch einen Kautschukschlauch gibt. Die Löcher der Scheibe können je nach dem Bedürfniss vergrössert oder verkleinert werden. Es ruht nämlich vor dem einen Rande der rotirenden Scheibe eine, von einem Stativ getragene, kleinere, metallene Scheibe. Diese besitzt verschieden grosse Oeffnungen, von welchen man je eine vor die rotirenden Löcher stellen kann. Nach Umständen wendet man zum Sehen durch diese Oeffnungen ein auf demselben Träger befestigtes kleines Fernrohr an. Die umlaufende Scheibe muss leicht sein, und sie kann daher, wie alle stroboskopischen Scheiben, aus Pappe gefertigt werden; die ausgestellte bestand jedoch aus geschwärztem Aluminium. In der Regel verwendet auch Prof. Töpler Pappescheiben. Das Instrument ist in der That ein Universal-Vibroskop; denn jede Art der schwingenden Bewegungen, wie sie an Stäben, Saiten, Membranen, tönenden Flammen u. s. w. vorkommen, lassen sich damit studiren. Plateau hatte dies schon ausgesprochen[1]); aber erst Töpler ging näher darauf ein, und Radau[2]) zeigt allgemein, wie das Verhältniss der Umlaufsgeschwindigkeit zur Schwingungsanzahl (in der Secunde) sein muss, wenn die letztere aus jener sich soll bestimmen lassen und wenn man die scheinbare Verlangsamung der Schwingungen handhaben wollte.

---

1) Moigno, Optik. 1847, II, S. 568.

1) Moniteur scientifique 1867.

## Nachtrag zu Seite 231.

Im vorigen Hefte konnten wir unseren Lesern nur eine rohe Skizze der Ladd'schen Maschine geben; wir fügen diesmal eine genauere Zeichnung der Maschine auf Tafel XXII Figur 7 bei, welche wir der 13. Auflage der Ganot'schen Physik entnehmen.

(Fortsetzung folgt im nächsten Hefte.)

---

# Kleinere Mittheilungen.

## Zwei optische Apparate.

Von V. v. Lang.

Hiezu Tafel XXII Figur 2 und 3.

1) Apparat zum Nachweis des Brechungsgesetzes. Bei dem bekannten bisher benutzten Apparate können nur Wenige gleichzeitig die Brechung des Lichtes auf der Rückwand der Apparate verfolgen. Um diesem Mangel abzuhelfen, habe ich die Rückwand aus durchscheinendem Materiale gebildet, und zwar bei einem nur beiläufig ausgeführten Apparate aus Glas, welches mit Pauspapier überzogen war. Stellte man eine leuchtende Flamme vor die Spalte, so konnte das ganze Auditorium die Wirkung des Apparates wahrnehmen. Dieselbe ist natürlich eclatanter wenn der Saal verfinstert und der Apparat mit einem undurchsichtigen Gegenstande bedeckt wird. Tafel XXII Figur 2 zeigt einen solchen von Mechaniker W. J. Hauck in Wien ausgeführten Apparat, bei welchem Boden und Rückwand die Hälfte eines cylinderischen Gefässes sind; die äussere Seite der Rückwand ist rauh gemacht und mit einer Gradtheilung versehen. Die Vorderwand besteht aus einer Glasplatte, welche mittelst einer Blechhülle an den rückwärtigen Theil gekettet ist. In diese Blechhülle ist auch die Spalte eingeschnitten. Der Radius des Apparates ist beiläufig $17^{cm}$, seine Höhe $8^{cm}$.

2) Apparat zum Nachweis der Doppelbrechung einer Glaslinse durch Druck. Der in Tafel XXII Figur 3 in natürlicher Grösse dargestellte Apparat erlaubt eine stark convexe Glaslinse gegen eine Glasplatte zu pressen, wodurch die Linse bekanntlich doppelt brechende Eigenschaften erhält. Betrachtet man nämlich alsdann die Linse in einem Polarisations-Apparate mit parallelem Lichte (alter Nörrenberg'scher Apparat), so sieht man bei gekreuzten Polarisirern

ein schönes schwarzes Kreuz auf lichtem Felde. In Betreff der Entstehung dieses Kreuzes siehe Pogg. Ann. Bd. 123, S. 140.

---

## Der einfachste analytische Beweis des Satzes über die prismatische Minimalablenkung.

Von Dr. K. L. Bauer.

Wenn ich mir trotz zweier vorausgegangener Notizen über diesen Gegenstand nochmals erlaube, den fraglichen Beweis vollständig herzusetzen, so möge dies darin seine Entschuldigung finden, weil gegenwärtige Form desselben wohl schwerlich einer weitern Verbesserung fähig ist und sich daher zu allgemeiner Annahme empfehlen dürfte. Ich werde mich zunächst der Differentialrechnung bedienen und sodann zeigen, wie dem Nachweise auch ein vollkommen strenges, elementares Gewand verliehen werden kann.

Die Winkel, welche die drei aufeinander folgenden Richtungen des Strahls mit den durch beide brechende Flächen des Prismas gezogenen Einfallslothen bilden, mögen wie früher mit $\alpha$, $\beta$, $\beta'$, $\alpha'$, bezeichnet sein; $A$ bedeute die prismatische Ablenkung, $B$ den brechenden Winkel und $n$ den Brechungsindex, welchen wir $> 1$ voraussetzen. Zwischen diesen fünf variabeln und zwei constanten Grössen bestehen dann die vier Beziehungen:

$$1)\ A = \alpha + \alpha' - B;\quad 2)\ \beta + \beta' = B$$
$$3)\ \sin\alpha = n\sin\beta;\quad 4)\ \sin\alpha' = n\sin\beta'.$$

Die Differentiation der beiden ersten Gleichungen nach $\beta$ ergibt:

$$\frac{dA}{d\beta} = \frac{d\alpha}{d\beta} + \frac{d\alpha'}{d\beta'}\cdot\frac{d\beta'}{d\beta};\quad \frac{d\beta'}{d\beta} = -1;$$

es ist also auch einfacher:

$$\frac{dA}{d\beta} = \frac{d\alpha}{d\beta} - \frac{d\alpha'}{d\beta'}.$$

Mit Benützung von 3) findet man direct $\frac{d\alpha}{d\beta} = \frac{n\cos\beta}{\cos\alpha}$; der Quotient rechts lässt sich aber zweckmässig umwandeln in:

$$\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} : \cos\alpha = \sqrt{n^2\cos^2\alpha + (n^2-1)\sin^2\alpha} : \cos\alpha = \sqrt{n^2 + m^2\, tg^2\,\alpha}$$

wobei abkürzend $m^2$ für $n^2 - 1$ (die sog. brechende Kraft) gesetzt wurde. Der entsprechende Ausdruck für $\frac{d\alpha'}{d\beta'}$ folgt hieraus wegen 4),

durch blosse Accentuirung der Winkel, so dass man schreiben kann:

$$\frac{dA}{d\beta} = \sqrt{n^2 + m^2 tg^2 \alpha} - \sqrt{n^2 + m^2 tg^2 \alpha'}.$$

Dieser Differentialquotient ist offenbar so lange negativ als $\alpha < \alpha'$ bleibt, und so lange positiv, als $\alpha > \alpha'$ ist. Denken wir uns also die Winkel $\alpha$ und $\beta$ von ihren kleinsten Werthen bis zu ihren grössten continuirlich fortschreitend, so wird nach einem bekannten Satze der Differentialrechnung die Funktion $A$ fortwährend abnehmen, bis $\alpha = \alpha' = \alpha_0$ geworden ist; bei weiterem Wachsthum von $\beta$ und $\alpha$ aber wird dieselbe wieder beständig wachsen. Es ist demnach klar, das $A$ unter der Bedingung $\alpha = \alpha' = \alpha_0$ und $\beta = \beta' = \beta_0$ seinen Minimalwerth $A_0$ annimmt; der Brechungsindex bestimmt sich durch die Gleichung

$$n = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \beta_0} = \frac{\sin \frac{1}{2}(B + A_0)}{\sin \frac{1}{2} B}.$$

Will man diesen Beweis in ein elementares Gewand kleiden, so setzt man $\triangle$ statt $d$ und stellt zunächst die strenge Gleichung auf:

$$\frac{\triangle A}{\triangle \beta} = \frac{\triangle \alpha}{\triangle \beta} - \frac{\triangle \alpha'}{\triangle \beta'}.$$

Um sodann $\frac{\triangle \alpha}{\triangle \beta}$ zu bilden, benutzt man die zwei Beziehungen

$$\sin \alpha = n \sin \beta; \ \sin(\alpha + \triangle \alpha) = n \sin(\beta + \triangle \beta),$$

entwickelt die letztere denselben, setzt näherungsweise die Cosinusse der Incremente = 1, die Sinusse derselben = den Incrementen selbst und erhält auf diese Weise die Näherungsformel $\frac{\triangle \alpha}{\triangle \beta} = \frac{n \cos \beta}{\cos \alpha}$; den Quotienten rechts wandelt man, wie oben gezeigt, in $\sqrt{n^2 + m^2 tg^2 \alpha}$ um und fügt, um die Formel exakt richtig zu machen, eine Correction $R$ bei, von der es hinreicht, zu wissen, dass sie gleichzeitig mit den Incrementen $\triangle \alpha$ und $\triangle \beta$ gegen Null convergiert. So gelangt man zu der geraden Gleichung:

$$\frac{\triangle A}{\triangle \beta} = \sqrt{n^2 + m^2 tg^2 \alpha} - \sqrt{n^2 + m^2 tg^2 \alpha'} + R - R'.$$

Lässt man jetzt $\triangle \beta$ stets kleiner und kleiner werden, so bleibt die Differenz der Wurzelgrössen rechter Hand ungeändert, während jede der Correctionen $R$, $R'$ mehr und mehr der Null zustrebt; das Vorzeichen des Gesammtwerthes der rechten Seite stimmt also von einer gewissen Stelle an jedenfalls mit dem Vorzeichen der Wurzel-

differenz überein, so dass die durch ein Wachsthum des $\beta$ verursachte Aenderung der Ablenkung negativ oder positiv ausfällt, je nachdem $\alpha$ kleiner oder grösser als $\alpha'$ ist; damit erledigt sich der Gegenstand.

Noch erwähne ich den richtigen und guten Nachweis von Ettingshausen's, den ich erst in letzter Zeit durch Külp's Lehrbuch der Physik kennen lernte. In Hinsicht auf die Gleichung $dA = d\alpha + d\alpha'$ und bedenkend, dass die Aenderungen von $\alpha$ und $\alpha'$, ebenso wie die von $\beta$ und $\beta'$, stets mit entgegengesetzten Vorzeichen behaftet sind, leitet v. Ettingshausen aus den drei letzten der ursprünglich gegebenen vier Relationen das Resultat ab: $\frac{d\alpha}{-d\alpha'} = \frac{\cos\alpha' \cos\beta}{\cos\alpha \cos\beta'}$, und bemerkt dann, dass die Ungleichungen $\frac{d\alpha}{-d\alpha'} \lesseqgtr 1$ erfüllt sind, wenn $\cos\alpha' \cos\beta - \cos\alpha \cos\beta' \lesseqgtr 0$, mithin auch, wenn $n^2 \cos^2\alpha' \cos^2\beta - n^2 \cos^2\alpha \cos^2\beta' = (1 - \sin^2\alpha')\ (n^2 - \sin^2\alpha) - (1 - \sin^2\alpha)$ $(n^2 - \sin^2\alpha') = m^2 (\sin^2\alpha - \sin^2\alpha') \lesseqgtr 0$, also schliesslich, wenn $\alpha \lesseqgtr \alpha'$ ist; hieraus lässt sich leicht die Bedingung für die Minimalablenkung erkennen.

Es dürfte übrigens zweckmässig sein, letzteres Verfahren so umzuändern, dass man setzte

$$\frac{d\alpha}{-d\alpha'} = \frac{d\alpha}{d\beta} : \frac{d\alpha'}{d\beta'} = \frac{\sqrt{n^2 + m^2\, tg^2\alpha}}{\sqrt{n^2 + m^2\, tg^2\alpha'}},$$

und alsdann den Schluss zöge, dass $\frac{d\alpha}{-d\alpha'} \lesseqgtr 1$, wenn $\alpha \lesseqgtr \alpha'$ ist.

Karlsruhe, im November 1867.

---

## Eine zweckmässige Einrichtung des Rheochordes.

Von Ph. Carl.

Hiezu Tafel XXII Figur 4, 5, 6.

Bereits bei den Untersuchungen über die Thermoelectrischen Ströme, welche ich im Jahre 1860 veröffentlichte, habe ich einen Reochord in Anwendung gebracht, welcher mit der Verbesserung, die ich an demselben im vorigen Jahre angebracht habe, weitere Beachtung verdienen möchte und welchen ich im Folgenden beschreiben will.

Die im Jahre 1860 angewandte Einrichtung des Apparates ist durch Tafel XXII Figur 4 dargestellt. Auf einem Brette $A$ war

ein ganz feiner Draht zickzackförmig in der aus der Figur hinreichend deutlichen Weise aufgezogen. An dem einen Ende des Brettes *A* wurde ein sehr starker Messingstreifen *B* aufgesetzt, durch welchen 8 Schrauben mit randrirten Köpfen derart hindurch gingen, dass sie sich über der Mitte der 8 Messingplättchen, in welche die Enden des feinen Drahtes ausliefen, befanden, und so an diese stark angedrückt werden konnten. Der Kupferbügel und die Messingplättchen waren so stark in Metall, dass ihr Widerstand als verschwindend klein angesehen werden konnte. Es liess sich so durch Anziehen verschiedener Schrauben ein verschiedener Widerstand in den Schliessungskreis einschalten; allein man konnte blos die ganze Länge eines Zickzackes des feinen Drahtes oder Vielfache derselben einschalten.

Durch die in Tafel XXII Figur 5 dargestellte Einrichtung des Apparates kann man nun auch Unterabtheilungen der genannten Länge und also einen beliebigen Widerstand einschalten. Neben dem zickzackförmig aufgespannten Draht ist nämlich noch als Fortsetzung desselben die ganze Länge eines Zickzackes in gerader Linie aufgespannt. Auf diesem geraden Drahte lässt sich eine starke Klemme verschieben, so dass ein beständiger Contact mit dem Drahte stattfindet. Es ist so ohne weiteres klar, wie die Einschaltung einer beliebigen Drahtlänge bewerkstelligt werden kann und ich habe blos noch einige Details näher anzugeben. Die Klemme wird in einem Schlitze geführt, welcher in der Figur durch den starken Strich dargestellt ist; sie ist ferner so eingerichtet, dass sie an einer beliebigen Stelle festgeklemmt werden kann. Um die Länge des eingeschalteten Drahtes zu erfahren, haben einmal die Drahtlängen der Zickzacke einen bestimmten Werth z. B. 1 Meter (die Länge des geraden Drahtes ist dann auch ein Meter) und man kann also durch Anziehen der einzelnen Schrauben die ganzen Meter, durch die Klemme Unterabtheilungen des Meters einschalten. Um zu wissen, wie gross die Unterabtheilung ist, befindet sich neben dem Schlitze eine in der Figur angedeutete Scala, welche ich gewöhnlich in halbe Centimeter eintheile. Man kann auch, um ganz sicher zu gehen, die einzelnen Zickzacke, sowie den geraden Draht durch Vergleichung mit einem Etalon-Widerstande aichen.

Ich habe ferner zwei solcher Rheochorde auf demselben Brette zu einem Doppelrheochord verbunden, dessen Einrichtung aus Fig. 6 nach dem Gesagten selbstverständlich ist. Man kann dabei entweder zwei gleiche Drahtsysteme oder zwei Systeme von verschieden starkem

Drahte anbringen. Bemerken will ich noch, dass am besten für alle Contacte der Schrauben gegen die Messingplättchen Platincontacte genommen werden; wählt man Platindraht oder platinirten, ganz feinen Messingdraht zur Einschaltung des Widerstandes, so lässt sich auch für die Klemme und den geraden Draht ein Platincontact herstellen.

---

## Das v. Kobell'sche Gemsbart-Electroscop.

Von Ph. Carl.

Herr Professor Poggendorff hat bei den kürzlich in seinen Annalen (1867 Nr. 8) bekannt gemachten electroscopischen Untersuchungen sich des Pyroxilinpapieres als electroscopischer Substanz bedient, welches durch Reiben mit den meisten organischen Substanzen ungemein stark negativ electrisch wird. Unter den Körpern, welche fähig sind, als zuverlässiges Electroscop für positive Electricität zu dienen, wird an der bezeichneten Stelle auch der von Herrn von Kobell bereits vor mehreren Jahren empfohlene Gemsbart genannt.

In der That ist dieser Apparat eines der empfindlichsten Hilfsmittel, um die electroscopischen Erscheinungen der Körper, namentlich der Krystalle und Mineralien überhaupt nachzuweisen. Ich habe demselben in jüngster Zeit eine recht bequeme Form gegeben; er kann wie ein Bleistift in der Tasche geführt werden, wobei das Haar im Innern des Halters sich befindet und also, wenn es nicht gebraucht wird, geschützt ist. Will man das Vorhandensein der Electricität an einem Körper nachweisen, so schraubt man den Kopf oben ab, zieht das daran befestigte Gemshaar heraus und schraubt den Kopf verkehrt wieder auf, so dass sich jetzt das Haar aussen befindet; es kann nun die Untersuchung vorgenommen werden. Auch vergoldete Gemsbarthaare habe ich in eine analoge Fassung gebracht. Ferner habe ich ganze Etuis zusammengestellt, in welchen sich die zur Untersuchung der electroscopischen Erscheinungen der Körper, sowie zum Nachweise der pyroëlectrischen Eigenschaften der Krystalle erforderlichen Apparate befinden. Diese Etuis enthalten 3 Electroscope (zwei gewöhnliche und ein vergoldetes Gemshaar), einen Hartgummistreifen, einen Turmalin und einen geeigneten Krystallträger. Sämmtliche Apparate können durch meine physikalische Anstalt bezogen werden.

---

## Bequemer Apparat zur Herstellung von Magneten.

Von Ph. Carl.

Hiezu Tafel XXII Figur 8.

In physikalischen Laboratorien und Observatorien, an welchen Untersuchungen über den Magnetismus angestellt werden, kommt man häufig in den Fall, Magnete neu magnetisiren oder selbst ganz neue Magnete herstellen zu müssen. Ich habe zu diesem Zwecke einen äusserst bequemen Apparat hergestellt, welcher Tafel XXII Figur 8 darstellt. Derselbe hat noch den Vortheil, dass er zu anderweitigen Zwecken brauchbar ist; so kann man, um nur ein Beispiel anzuführen, an demselben, wenn er selbst nur mässige Dimensionen besitzt, die diamagnetischen Fundamental-Erscheinungen recht gut demonstriren. Der Apparat besteht einfach aus einem zweischenkeligen Electromagneten, dessen Schenkel $E, E$ auf Schiebern $A, B$ befestigt sind, die in dem Schlitten $S, S$ verschiebbar sind. In dem Schlitten ist unten eine Eisenschiene $M, N$ eingelegt, welche die Verbindung der beiden Eisenkerne der Schenkel $E, E$ bewerkstelligt. Oben auf die Schenkel $E, E$ sind die Eisenplatten $P, P$ aufgelegt, so dass man selbst ganz kurze Stahlstücke magnetisiren kann.

Der ganze Apparat ist auf einem hölzernen Kasten aufgesetzt, in welchem man die galvanische Batterie unterbringen kann. Hat der Electromagnet grössere Dimensionen, so kann man, wie erwähnt, den Apparat auch so einrichten, dass die diamagnetischen Fundamental-Erscheinungen daran demonstrirt werden können. Man nimmt zu diesem Zwecke die Platten $P, P$ ab und bringt den Glasaufsatz mit der Aufhängungsvorrichtung für die diamagnetischen Körper, sowie die dazu geeigneten Polplatten, welche bereits in jedem grösseren Lehrbuche der Physik beschrieben sind, auf dem Electromagneten an.

---

## Analytische Wage,

construirt und ausgeführt vom Mechaniker und Ingenieur

Paul Bunge in Hamburg.

Hiezu Tafel XXIII.

Wir haben bereits im vorigen Hefte (pag. 269) eine allgemeine Beschreibung dieser Wage gegeben; Herr Bunge hat uns nun eine genaue Zeichnung derselben eingesendet, welche wir auf Tafel XXIII

wiedergeben, und wünscht, dass diese Zeichnung von beifolgendem Texte begleitet sei.

Bei der Construction meiner Wagen habe ich es mir angelegen sein lassen, mit möglichster Einfachheit höchste Leistungsfähigkeit, äussere Eleganz und wohlfeile Herstellungskosten zu verbinden. Aus diesem Grunde sind die sonst üblichen kostspieligen Achatachsenlager durch einfachere aus glashartem Gussstahle ersetzt, weil diese jeder Abnutzung weit weniger ausgesetzt sind als die Achsen selbst, durch zweckmässige Länge der Achsen, wie durch die ungemeine Leichtigkeit der von ihnen getragenen Theile; ferner durch die exacte Arretirung, die sämmtliche 3 Schneiden nur, wenn der Balken schwingt, in Anspruch nehmen lässt, wird die Abnutzung der Achsen und ihrer Lager auf das erreichbare Minimum reducirt.

Meine Wagen weichen hauptsächlich insoferne von den bisher üblichen Constructionen ab als ihr Balken so kurz als irgend möglich ist, während in Uebereinstimmung mit sämmtlichen mir bekannten darüber handelnden Lehrbüchern die Wagen bauenden Mechaniker einen langen Balken für vortheilhaft auf die Empfindlichkeit der Wage halten. Die betr. Lehrbücher geben mit unwesentlicher Abweichung für die Tangente des Aufschlagwinkels bei einem kleinen Uebergewichte $p$ sämmtlich die Formel $tg\,\alpha = \frac{pl}{a\,(G + 2P + p)}$, wo $G$ das Gewicht des Balkens, $P$ das jeder Schale inclusive Belastung, $2l$ die Entfernung der Endachsen, $a$ die Entfernung des für Balken und Last gemeinschaftlichen Schwerpunctes von der Mittelachse bedeuten, und schliessen daraus: die Tangente des Ausschlagwinkels, also die Empfindlichkeit der Wage wächst mit der Länge des Balkens, weil $l$ im Zähler des Bruches steht. Dieser Schluss ist falsch, weil mit $l$ auch die im Nenner des Bruches stehenden Werthe $G$ und $a$ und zwar in erhöhter Potenz wachsen müssen, wie folgende Betrachtung zeigt: die Durchbiegung eines Balkens für bestimmte Last ist proportional der 5. Potenz seiner Länge und umgekehrt proportional dem Trägheitsmomente seines Querschnittes. Für gleiche Last und Durchbiegung wächst also das Trägheitsmoment des Balkenquerschnittes mit der 3. Potenz der Länge und (ähnliche Querschnitte vorausgesetzt) die Querschnittsfläche mit der Quadratwurzel aus der 3. Potenz; das Gewicht des Balkens mit der Quadratwurzel aus der 5. Potenz der Länge. Die Empfindlichkeit würde nach obiger Formel um so grösser sein, je kleiner die

Grösse $a$ wird. Würde man aber diese über ein gewisses Maass reduciren, so würde die Wage wegen zu grosser Schwingungsdauer unpractisch werden. Die Schwingungsdauer der Waage ist gleich der eines mathematischen Pendels von der Länge gleich dem Quotienten aus dem Trägheitsmomente der schwingenden Masse durch deren statisches Moment, beides bezogen auf die Drehachse. Da nun die Schwingungsdauer des mathematischen Pendels proportional der Quadratwurzel aus dessen Länge ist, beim Trägheitsmoment der schwingenden Masse die Balkenlänge im Quadrat, beim statischen Moment die Grösse $a$ nur in 1. Potenz coëfficirt, so ist die Schwingungsdauer der Wage proportional der Balkenlänge und umgekehrt proportional aus der Grösse $a$. Für eine statthafte Maximalschwingungsdauer wächst also $a$ mit $l^2$ und obige Formel lautet für einen Balken von $n$facher Länge folgendermaassen: $tg\,\alpha = \frac{p\,n\,l}{n^2 a\,(\sqrt{n^5}\,.\,G + 2P + p)}$. Hierdurch ist der bedeutende Vortheil kurzer Balken klar erwiesen, denn je länger $n$, desto grösser $tg\,\alpha$, je kürzer der Balken, desto empfindlicher die Wage. Die aus der Zeichnung ersichtliche Construction des Balkens, der Schalen und ihrer Aufhängung verbindet grösste Leichtigkeit mit mehr wie hinreichender Festigkeit und ist den bisher üblichen Formen auch ihrer billigen Herstellung wegen bei weitem vorzuziehen. Besonders vortheilhaft würde diese Construction für grössere Lasten, also z. B. beim Gebrauche in Münzwerkstätten, Banken etc. sein. Der Preis der auf Tafel XXIII dargestellten Wage in elegantem Gehäuse stellt sich auf 30 Thaler.

Auf Verlangen wird auch eine Vorrichtung zur Anwendung des Reitergewichtes und zur Verschiebung desselben bei geschlossenem Gehäuse angebracht.

---

## Ueber eine Longitudinalwellenmaschine.

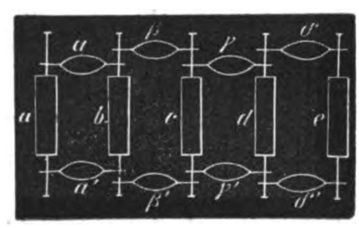
Von E. Mach.

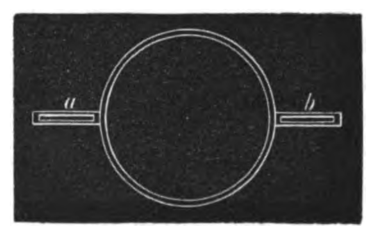
Die Vorgänge an der gewöhnlichen Stossmaschine haben bekanntlich eine grosse Aehnlichkeit mit jenen, welche bei der Fortpflanzung des Schalles stattfinden. Ich habe nun die Stossmaschine so modificirt, dass diese Aehnlichkeit noch deutlicher hervortritt.

Die Analogie zwischen der Reihe elastischer Kugeln und den

Molecülen eines elastischen Mediums ist in der That nicht vollständig, weil die Kugeln zwar durch Stoss, nicht aber durch Zug aufeinander wirken können.

Denken wir uns eine glatte, horizontale Bahn aus Holz, auf welcher sich einige Cylinder aus Metall befinden. Die Axen je zwei benachbarter Cylinder sind durch kreisförmige Stahlfedern verbunden, so dass ein Cylinder sich von dem andern nicht entfernen, noch ihm sich nähern kann, ohne dem letztern einen Zug oder Druck zu ertheilen. Nur ein ganz kleiner Spielraum bleibt den Cylindern, so dass man die Bewegung derselben bemerken und die Uebertragung der Bewegung mit den Augen verfolgen kann.


Figur 1.



Figur 2.

Die Figur 1 stellt schematisch die Cylinder $a$, $b$, $c$, $d$, $e$ dar, welche auf der Holzbahn rollen können und deren Axen durch die kreisförmigen Stahlfedern $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$, $\alpha'$, $\beta'$, $\gamma'$, $\delta'$, verbunden sind.

Die Figur 2 zeigt eine Verbindungsfeder. Die Schlitze $a$, $b$ bilden den Spielraum für die Cylinderaxen. — Es ist natürlich vortheilhaft schwere Cylinder und schwache Federn zu nehmen.

Es lässt sich nun an diesem Apparat die Fortpflanzung eines longitudinalen Impulses, der Unterschied der Reflexion am dichteren und dünneren Medium (wenn man den ersten Cylinder $a$ stösst und hierbei den letzten Cylinder $e$ festhält oder frei lässt), die Bildung der stehenden Wellen u. s. w. erläutern. Man kann sogar die bekannte Gleichung für die Schallbewegung in einem linearen Medium $y = F(x + xt) + f(x - xt)$ anschaulich machen.

Man kann auch den Apparat dadurch completiren, dass man eine Reihe leichterer oder schwererer Cylinder hinzufügt, wodurch zwei aneinander gränzende Medien von ungleicher Dichte dargestellt werden.

## Reaction zweier Influenzelectrisirmaschinen auf einander.

Schon im 130. Bande der Poggendorff'schen Annalen hat Herr Holtz auf die Erscheinung hingewiesen, dass, wenn man die Pole zweier Influenzmaschinen mit einander verbindet und die eine derselben in Bewegung setzt, dass dann die rotirende Scheibe der anderen Maschine von selbst sich zu drehen beginnt. Herr Holtz bediente sich dabei zweier ungleicher Influenzmaschinen. Später (Pogg. Ann. Nr. 7 und 8) hat Herr Prof. Poggendorff gezeigt, dass dieselbe Wirkung eintritt, wenn man die Pole von zwei gleichen Influenzmaschinen mit einander verbindet. Man kann statt der treibenden Maschine auch eine Reibungselectrisirmaschine verwenden, deren Conductor und Reibzeug man mit den Electrodenkämmen der Influenzmaschine verbindet, von welcher man, um den Versuch zu vereinfachen, ausser dem Schnurlaufe auch die feststehende Scheibe entfernt hat. Auch der Herausgeber hat diese Versuche an zwei gleichen in seiner physikalischen Anstalt verfertigten Influenzmaschinen mit Erfolg wiederholt.

Die Art und Weise, wie die Rotation zu Stande kommt, erklärt Herr Prof. Poggendorff in folgender Weise: Nach dem anfänglichen Impuls bekleidet sich die Scheibe mit den von den Kämmen ausströmenden Electricitäten, auf der einen Hälfte mit der positiven, auf der andern mit der negativen; und sowie die von dem einen Kamm ausströmende Electricität zu dem andern gelangt, wird sie von diesem angezogen und nicht blos sie allein, sondern auch die Scheibe, an welcher sie adhärirt. Es ist aber auch einzusehen, dass die beiden Hälften der Scheibe nicht fortdauernd electrisirt sein könnten (wie sie es wirklich sind), wenn die von dem einen Kamm ausströmende Electricitätsmenge vollständig zu dem andern gelangte, weil dann die Electricität des letzteren gänzlich zur Neutralisation der Electricität der ersteren verbraucht werden würde. Es muss also entweder ein Theil der von der Scheibe aufgenommenen Electricität verloren gehen oder die von jedem Kamme ausströmende Electricität in der Weise zerfallen, dass nur ein Theil an die von ihm fortgehende Hälfte der Scheibe übergeht, und der andere die entgegengesetzte Electricität der an ihn herantretenden Hälfte neutralisirt.

---

## Netter Versuch mit der Influenzelectrisirmaschine.

### Von Ph. Carl.

Wenn man auf einem Brettchen Metallstiftchen von ein paar Linien Länge in eben so grossen Zwischenräumen nebeneinander befestigt (so dass sie gleichsam eine Reihe von Strichen — — — — bilden) und dieses Brettchen zwischen die geöffneten Electroden der Influenzmaschine bringt, so schlägt der Funken durch die Metallstiftchen über und man erhält einen unterbrochenen Funken. Die Stiftchen werden einfach durch die Influenz polarisirt, allein so stark, dass der unterbrochene Funke leicht die doppelte Länge der Schlagweite erhalten kann, welche die Maschine gibt, wenn die Stiftchen entfernt sind. Man erhält also schon mit einer kleineren Maschine einen sehr langen unterbrochenen Funken.

---

## Die Influenzmaschine in America.

In Les Mondes vom 21. November 1867 sind unter diesem Titel ein paar Zeichnungen der Holtz'schen Maschine gegeben, wie dieselbe von amerikanischen Constructeurs ausgeführt worden ist. Diese Zeichnungen enthalten nichts wesentlich Eigenthümliches; die vorzüglichste Abänderung gegen die erste Holtz'sche Maschine besteht darin, dass anstatt der festen Scheibe blos vier Sectoren aus Glas mit den vier Belegungen angebracht und die Zwischenräume ganz frei gelassen sind.

---

## De la Rive's Photometer zur Messung der Durchsichtigkeit der Luft.

De la Rive hat in den Annales de Chimie et de Physique (Oct. 1867) einen Apparat beschrieben, der zur Messung der Durchsichtigkeit der Luft dient. Derselbe gestattet die gleichzeitige und vergleichbare Beobachtung von zwei ähnlichen Miren, die in verschiedenen Entfernungen aufgestellt sind. Der Unterschied, welcher zwischen den optischen Bildern dieser Miren stattfindet, drückt die Wirkung aus, welche von der dazwischen liegenden Luftschicht von bekannter Dicke, die gleich dem Unterschiede der Abstände beider Miren ist, erzeugt wird. Es sind nämlich am Instrumente zwei Objective nach den beiden Miren gerichtet; beide Objective haben nur ein gemeinschaftliches Ocular, damit zugleich die beiden Bilder in das Gesichtsfeld gebracht

werden können. Man macht nun beide Bilder gleich, indem man Diaphragmen mit veränderlichen Oeffnungen anbringt; man erhält so den Unterschied in der Helligkeit der beiden Bilder und damit auch die Wirkung der zwischen liegenden Luftschicht.

---

## Stefan. Ueber einen von ihm construirten akustischen Interferenz-Apparat.

(Wiener Academischer Anzeiger 1867 Nr. XXIV.)

Dieser Apparat hat die Aufgabe, die Interferenz von Schallwellen sichtbar zu machen. Um leicht Gangunterschiede von einer und mehr halben Wellenlängen herstellen zu können, ist es am besten, kurze Schallwellen, also hohe Töne zu verwenden, wie solche longitudinal schwingende elastische Stäbe liefern. Als Schallquelle dient ein Thermometerrohr von ungefähr einem Meter Länge, welches in der Mitte durch einen Kork geht, mittels dessen es in eine weitere Röhre so gesteckt ist, dass die Hälfte desselben ausserhalb, die andere Hälfte in ihr sich befindet. Der herausragende Theil wird durch Reiben mit einem feuchten Lappen zum Tönen gebracht. Es kommt dadurch auch die Luft in der weiteren Röhre in Schwingung und damit dies in kräftigerer Weise geschieht, ist auf das in der weiten Röhre befindliche Ende des Thermometerrohres ein Korkscheibchen aufgesteckt, das nahe den ganzen Querschnitt der Röhre ausfüllt. Es ist von Kundt gezeigt worden, dass auf diese Weise die Luft in einer Röhre zum Mitschwingen mit einem Stabe gebracht werden kann. Kundt hat ferner gefunden, dass ein leichtes Pulver in der Röhre an den Schwingungen der Luft theilnimmt, indem es an den Knoten ruht, an den übrigen Stellen in Querschichten sich sammelt und auf und nieder sich bewegt. Diese Erscheinung wird nun bei dem in Rede stehenden Apparate benützt zur Sichtbarmachung von Interferenz in folgender Weise. Durch ein Röhrensystem von zwei T-förmigen Röhren, welche durch zwei darüber zu schiebende U-förmige Röhren verbunden sind, wird der Schall aus der erwähnten Glasröhre fortgeleitet, in zwei, je nach der Stellung der U-förmigen Röhren gleich oder ungleich lange Zweige getrennt, wieder vereinigt und in eine zweite Glasröhre geführt, in welcher die resultirende Bewegung erzeugt wird. Diese zeigt sich in der Bewegung des eingestreuten Pulvers. Letztere Röhre ist am Ende

frei oder mit einem Kork geschlossen. Ist zwischen den beiden Zweigen der Schallleitung kein Längenunterschied, oder beträgt dieser eine ganze Anzahl von Wellenlängen, so erhebt sich das Pulver lebhaft in Schichten; beträgt der Längenunterschied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen, so bleibt das Pulver vollständig ruhig. Am besten eignet sich zum Versuch Korkpulver, das durch Feilen eines Korkes gewonnen wird. Zu bemerken ist noch, dass die Querarme der T-förmigen und die U-förmigen Röhren in einer Verticalebene sich befinden und von dieser aus die Glasröhren über einander nach derselben Seite hin auslaufen, so dass der den Thermometerstab reibende Experimentator die Staubröhre unmittelbar vor Augen hat.

---

## v. Waltenhoten. Ueber eine neue Methode, die Widerstände galvanischer Ketten zu messen.

(Wiener Academischer Anzeiger 1867, Nr. XIV.)

Während man zur Bestimmung der electro-motorischen Kräfte und zur Messung der Widerstände metallischer Leiter Methoden besitzt, welche einen sehr hohen Grad von Präcision und Sicherheit erreichen lassen, sind die bisherigen Methoden zur Messung der Widerstände galvanischer Ketten noch sehr mangelhaft. Sie gewähren selbst unter den günstigsten Umständen keine exacte Genauigkeit und sind in vielen Fällen geradezu unbrauchbar. Letzteres gilt namentlich von den inconstanten Ketten, von welchen Poggendorff nachgewiesen hat, dass dabei die Anwendung der Ohm'schen Methode in der Regel zu desto grösseren Werthen für den inneren Widerstand führt, je grösser die äusseren Widerstände genommen wurden, wodurch bei solchen Ketten das ganze Verfahren illusorisch wird.

Man hat bisher angenommen, dass dieses eigenthümliche Verhalten der inconstanten Ketten in der Polarisation seinen Grund habe, insofern dieselbe der electro-motorischen Kraft der Kette von einem Versuche zum anderen — nach Maasgabe der verschiedenen Stromintensitäten — in ungleichem Maase entgegenwirkt. Der Verfasser hat jedoch durch Rechnung nachgewiesen, dass diese Annahme zur Erklärung der besagten Erscheinung unzureichend ist, indem die Polarisation, soweit man bisher deren Abhängigkeit von der Stromstärke kennt, bei constantem Kettenwiderstande ein ganz anderes Verhalten

bedingen müsste. Der Verfasser folgert hieraus, dass die fraglichen Widerstandsänderungen, welche sich bei Anwendung der Ohm'schen Methode zeigen, keine scheinbaren — in Folge der Polarisation — sondern durch eine thatsächliche Abhängigkeit des Kettenwiderstandes von der Stromstärke bedingt sein müssen, was denn auch, mit Rücksicht auf die offenbare Abhängigkeit der sogenannten Uebergangswiderstände von der Stromstärke, eine ganz natürliche Erklärung findet.

Ist diese Annahme richtig, dann muss es ebensowohl Ketten geben, deren innerer Widerstand bei zunehmendem äusseren Widerstande (d. h. bei abnehmender Stromstärke) kleiner wird, als auch solche, bei welchen das Gegentheil stattfindet — je nachdem nämlich die Uebergangswiderstände — nach Maasgabe der chemischen Beschaffenheit und Anordnung der Kettenbestandtheile — das eine oder das andere Verhalten bedingen.

Ohne hierauf in diesem Auszuge näher einzugehen, sei nur bemerkt, dass experimentelle Untersuchungen über diese und ähnliche für die Theorie der Ketten wichtige Fragen die Möglichkeit voraussetzen, die Widerstände galvanischer Ketten möglichst unabhängig von dem Einflusse der Polarisation zu messen, was natürlich nur bei sehr geringen Stromstärken möglich ist. — Wollte man jedoch diese sehr geringen Stromstärken durch Anwendung entsprechend grosser äusserer Widerstände hervorbringen und dabei die Ohm'sche Methode zur Ermittelung der verhältnissmässig sehr kleinen inneren Widerstände benützen, so würden — wie eine einfache Rechnung zeigt — die unvermeidlichen Beobachtungsfehler bei weitem nicht mehr die erforderliche Sicherheit der Resultate erlauben.

Die Absicht, solche Untersuchungen zu ermöglichen, hat den Verfasser veranlasst, eine den angedeuteten Anforderungen entsprechende Methode zur Bestimmung der Kettenwiderstände ausfindig zu machen, nämlich eine Methode, welche die Anwendung sehr kleiner Stromstärken ohne die Anwendung grosser Schliessungswiderstände gestattet. Dieselbe beruht auf folgenden Principien.

Wenn man die zu untersuchende Kette mit einer anderen, von grösserer electro-motorischer Kraft, in entgegengesetztem Sinne verbindet und an dieser Combination eine Nebenschliessung anbringt, so erhält man ein System von drei Strombahnen, zwischen zwei Knotenpunkten, von derselben Anordnung, wie bei der Poggendorff'schen

Compensationsmethode. Bezeichnet man die Widerstände in den Strombahnen der stärkeren Kette, der schwächeren Kette und der Nebenschliessung der Reihe nach mit $\alpha$, $\beta$ und $\gamma$ und die in den genannten Strombahnen stattfindenden Stromstärken mit $A$, $B$ und $C$, und denkt man sich bei beliebigem Verhältnisse der Widerstände $\alpha$, $\beta$ und $\gamma$, wobei also $B$ im Allgemeinen von Null verschieden sein wird, durch eine sehr kleine Aenderung von $\alpha$ eine entsprechende Aenderung der vorhandenen Stromintensitäten bewirkt, so gelangt man mit Rücksicht auf die Principien des Ohm'schen Gesetzes unmittelbar zur Gleichung:

$$\beta\, dB = \gamma\, dC$$

oder, wenn man die mit $A$ gleichlaufenden Ströme als positiv und somit $C$ als negativ gelten lässt, zur Gleichung:

$$\beta\, dB = -\gamma\, dC.$$

Die Integration führt, wenn man den Werth, welchen $C$ für $B = o$ annimmt, mit $Co$ bezeichnet, zur Relation:

$$\beta B = \gamma\ (Co - C).$$

Hat man vorerst durch Compensation der untersuchten Kette $B = o$ und somit $C = Co$ gemacht, und hierauf durch eine sehr kleine Aenderung von $\alpha$ das Gleichgewicht der Compensation gestört, so stellen $Co - C$ und $B$ die Stromesänderungen in den Strombahnen $\gamma$ und $\beta$ vor, und die obige Relation spricht in der Form:

$$\beta = \gamma \frac{Co - C}{B}$$

den Lehrsatz aus: dass der Quotient der nach Aufhebung der Compensation in $\gamma$ und $\beta$ beobachteten Stromesänderungen, mit dem Widerstande $\gamma$ der Nebenschliessung multiplicirt, sofort den Widerstand $\beta$ und somit auch den gesuchten Kettenwiderstand angibt.

Diese Methode unterscheidet sich also wesentlich von allen bisherigen und namentlich von der Ohm'schen Methode, indem sie den Widerstand der untersuchten Kette in der Nähe ihres Compensationspunctes ermitteln lässt und die Anwendung äusserst geringer Stromstärken ohne die Anwendung grosser Schliessungswiderstände gestattet. Sie entspricht dadurch zugleich der Anforderung, den inneren Widerstand einer Kette möglichst unabhängig von dem störenden Einflusse der Polarisation, nämlich unter Umständen zu untersuchen, bei welchen die Polarisation auf ein Minimum reducirt ist.

Zur Messung von $B$ kann ein nach der Poggendorff'schen Methode graduirter Multiplicator dienen; zur Messung von $Co - C$ eine

Gangain'sche Tangentenbussole. Der genau gemessene Widerstand $\gamma$ der Nebenschliessung bleibt ungeändert. Zur Veränderung des Widerstandes $\alpha$ dient ein Rheochord.

Näheres über die experimentelle Ausführung dieser Methode und Mittheilungen über die mittelst derselben bereits erzielten Resultate enthält eine ausführlichere Abhandlung, deren Veröffentlichung der Verfasser sich vorbehält, sowie auch seiner Untersuchungen über die electro-motorische Kraft der Daniell'schen Kette nach absolutem Masse, worüber er einstweilen im „Dingler'schen polytechnischen Journal" (Bd. 183) einige für praktische Zwecke bemerkenswerthe Mittheilungen gemacht hat.

---

## Chautard. Versuche über den Magnetismus und Diamagnetismus der Gase vor einem grossen Auditorium.

Herr Chautard bedient sich zu diesem Zwecke der Seifenblasen, die am Ende einer irdenen Pfeife erzeugt werden. Mit Sauerstoff ist ihm die Anwendung dieser Seifenblasen ganz gut gelungen und er konnte damit eine kräftige Anziehung erhalten, die man durch successive Magnetisirungen und Demagnetisirungen des Electromagnets augenblicklich in eine starke Oscillationsbewegung verwandeln kann. Chautard bedient sich dazu eines grossen Rühmkorf'schen Electromagnets, der für die Faraday'schen Versuche eingerichtet ist und durch eine Batterie von 30 Bunsen'schen Elementen angeregt wird. Die Seifenlösung ist mit einer gewissen Menge Glycerin gemischt (in demselben Verhältnisse wie bei den Plateau'schen Versuchen.) Die irdene Pfeife, welche in einer zweckmässigen Höhe für die an ihrem vorderen Ende gebildete Blase mittelst einer Zange befestigt ist, befindet sich oberhalb der Pole des Electromagnets in 2 bis 3 Millimeter Abstand. Das hintere Ende der Pfeife nimmt ein Kautschuckrohr auf, das zu einer mit Sauerstoff gefüllten Blase führt. Nach dieser Vorbereitung beleuchtet man die Blase mit dem Lichte einer Knallgas-Laterne; man hat somit ein magnetisches Gaspendel, welches in einem Hörsaal von 300 Personen ebenso sichtbar ist wie ein kleines Pendel von einer Eisenkugel.

Ein anderer Versuch betrifft den Diamagnetismus der Magnesium-Dämpfe oder des weissen Rauches der aus der Verbrennung des Magnesiums entstehenden Talkerde. Lässt man das Metall etwas unterhalb der conischen Pole des Electromagnets verbrennen, so sieht man, sowie man diesen anregt, die Rauchsäule sich seitwärts theilen und eine recht deutliche U-form annehmen.

---

# Mittheilungen über die auf der Pariser Ausstellung befindlichen physikalischen, mathematischen und astronomischen Instrumente und Apparate.

(Fortsetzung von Seite 376.)

## Einiges über die französische Section der Telegraphen auf der Weltausstellung zu Paris.

Von A. Leski.

(Hiezu Tafel XXIV bis XXVII.)

Es war der Ausstellung von 1867 vorbehalten, der Telegraphie einen ihr würdigen Platz neben anderen Zweigen der Physik einzuräumen. Nicht alle Länder waren jedoch auf diesem Gebiete so vertreten, dass man sich daraus ein richtiges Bild ihrer Leistungen hätte machen können. Die Vernachlässigung der Beschickung der Ausstellung auf geziemende Weise mit telegraphischen Apparaten, die besonders England zum Vorwurfe gemacht werden kann, hat jedenfalls zur Förderung der Wissenschaft nicht beigetragen.

Was nun die französische Section anbetrifft, so ist die Ausstellung in derselben insofern vollständig, als man sich ein richtiges Bild der Geschichte der Telegraphie in Frankreich aus derselben machen kann. Dort sind die verschiedensten Systeme vertreten, vom primitiven Zeigertelegraphen an bis zu dem Typendruck- und Copir-Telegraphen, deren Anwendung in neuester Zeit an Verbreitung so sehr zugenommen hat.

Unter den Ausstellern nimmt die französische Telegraphen-Direction einen nicht unbedeutenden Platz ein; Alles, was seit Benutzung der Electricität zur Beförderung von Depeschen an telegraphischen Apparaten auf den französischen Linien im Gebrauche gewesen ist, hat auch seinen Platz auf der Ausstellung gefunden. — Der ursprüngliche Breguet'sche Zeigertelegraph wurde von einem anderen, ebenfalls von Breguet construirten Telegraphen verdrängt, der mit zwei Zeigern versehen ist und durch verschiedene zu combinirende Stellungen der Zeiger zu einander Zeichen geben konnte, die denen des Lufttelegraphen

von Chappe nachgeahmt waren. Diesem folgte der Morse'sche Stiftschreiber, der so lange im Gebrauche war, bis der nach den ersten Versuchen des Ingenieurs John von Digney construirte Morsefarbschreiber in Frankreich zur Anwendung kam.

Der Digney'sche Farbschreiber ist jedenfalls einer der besten Morsetelegraphen; eine eigene Vorrichtung, die weiter unten näher beschrieben wird, ermöglicht, mit geringem Kraftaufwande an Electricität, die Zeichen auf dem Papierstreifen nachzudrucken. Die französische Telegraphendirection bedient sich fast ausschliesslich der Digney'schen Farbschreiber, in Belgien geht man ebenfalls damit um, das Lippen'sche System durch den Digney'schen Telegraphen zu ersetzen. Neuerdings hat der vom Amerikaner Hughes construirte Typendrucktelegraph einen nicht unbedeutenden Platz neben dem Morse-Schwarzschreiber eingenommen. Die Schnelligkeit, mit der dieser Apparat arbeitet, macht ihn besonders bequem für Centralstationen, auf denen der Depeschenverkehr ein äusserst lebhafter ist. An Einfachheit steht er dem Morseschreiber weit nach und gehört eine genaue Kenntniss und eine gewisse Gewandtheit dazu, um diesen Typendrucktelegraphen gut manipuliren zu können. Derselbe ist so vielfach und so eingehend beschrieben worden, dass es nicht nothwendig erscheinen dürfte, eine nähere Beschreibung desselben hier zu geben. Ein anderer Telegraph ist der von Caselli construirte Copirtelegraph. Derselbe ist in Frankreich auf der Linie von Paris nach Lyon seit einigen Jahren im Gebrauche gewesen, er wird auch noch jetzt benützt, doch nur ausnahmsweise, da man sich von der Unzweckmässigkeit dieses Apparates zur Versendung von Autographen genügend überzeugt hat. Bekanntlich arbeitete der Abbé Caselli Jahre lang an seinem Copirtelegraphen, ehe er ihm die heutige Form gab; besonders schwierig erschien es, einen Synchronismus zu erlangen, der auch für lange Luftleitungen die Probe bestanden hätte. Alle Versuche führten Caselli auf den Pendelregulator zurück, als das sicherste Mittel, den übereinstimmenden Gang der Apparate zweier Stationen zu erlangen. Eine ausführliche Beschreibung dieses Telegraphen findet sich in „Blavier's Traité de Télégraphie Electrique". Die Kürze dieses Artikels erlaubt es nicht, denselben hier aufzunehmen.

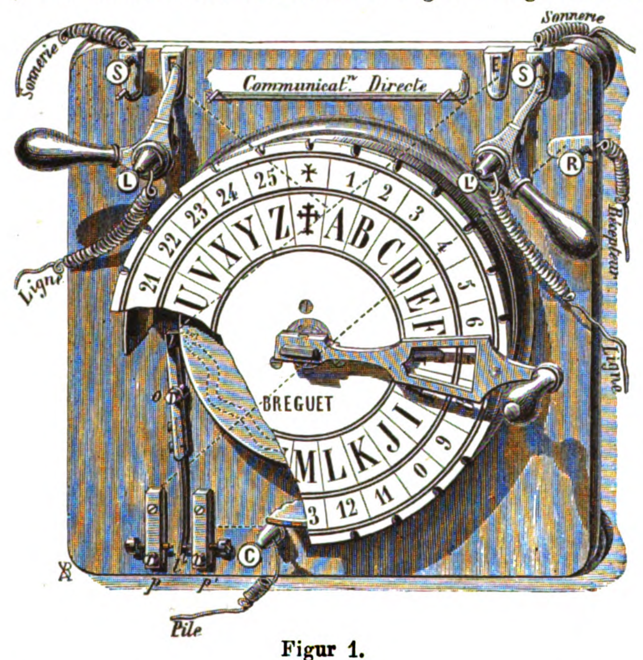
Die weiter unten beschriebenen Telegraphen sind in Deutschland im Ganzen weniger bekannt, als die Apparate von Hughes und Caselli. Es durfte schon deshalb denselben ein Platz hier eingeräumt werden,

damit die fast ausschliesslich in Frankreich gebrauchten oder auch nur construirten Telegraphen dem deutschen Publikum nicht unbekannt bleiben.

### Der Breguet'sche Zeigertelegraph.

Der Breguet'sche Zeigertelegraph hat in Frankreich eine grosse Verbreitung. Der grösste Theil der französischen Eisenbahndirectionen bedient sich dieses Apparates, während in Deutschland der Morse'sche Telegraph vorherrscht, und sogar in Preussen von der Regierung zum telegraphischen Verkehr auf den Eisenbahnen vorgeschrieben worden ist.

Der Breguet'sche Apparat hat einen grossen Vortheil, das ist seine Einfachheit und die sehr leicht zu erlernende Handhabung desselben; für Stationen, wo der Stationsvorsteher zugleich Telegraphist sein muss, ist dieses ein nicht zu übersehender Vorzug. Dieser Telegraph besteht aus einem Manipulator (Zeichengeber), Receptor (Zeichenempfänger) und Läutewerke. Beistehende Figur 1 zeigt den Manipulator




Figur 1.

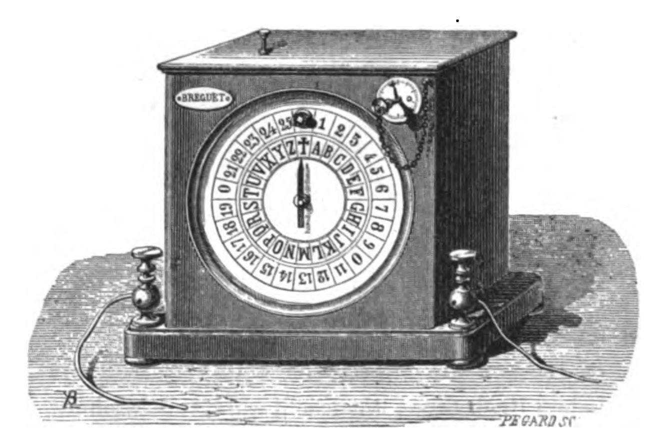
mit Umschalter für zwei Luftleitungen. Auf einem Holzsockel ruht auf drei Metallsäulen eine Scheibe aus Messing; diese enthält in zwei concentrischen Kreisen die Ziffern von 1—25 und die Buchstaben des Alphabets. Jedem Buchstaben entspricht ein Randeinschnitt der Scheibe, in welchen ein Stift hineinpasst, der unterhalb an der Kurbel ange-

bracht ist. Die Curbel dreht sich um eine Axe, die sich im Mittelpuncte der Scheibe befindet.

Auf der Axe der Curbel ist ein Rad mit gewundenem Einschnitt, dasselbe ist durch die Scheibe verdeckt, und in der Zeichnung ersichtlich, wo die Scheibe weggelassen ist. Ein Hebel $ll'$ dreht sich um seine Axe $O$, sein oberes Ende $l$ trägt einen Stift mit einem Stahlknopfe, der in den gewundenen Einschnitt eintritt. Wird nun die Curbel mit dem Rade in Bewegung gesetzt, so folgt der Stahlknopf und mit ihm der Hebel $ll'$ den Windungen des Einschnittes; bei jedem hervortretenden Theile der Windung federt $ll'$ gegen die Contactschraube $p'$, bei jedem eintretenden Theile schlägt $ll'$ an die Schraube $p$ an.

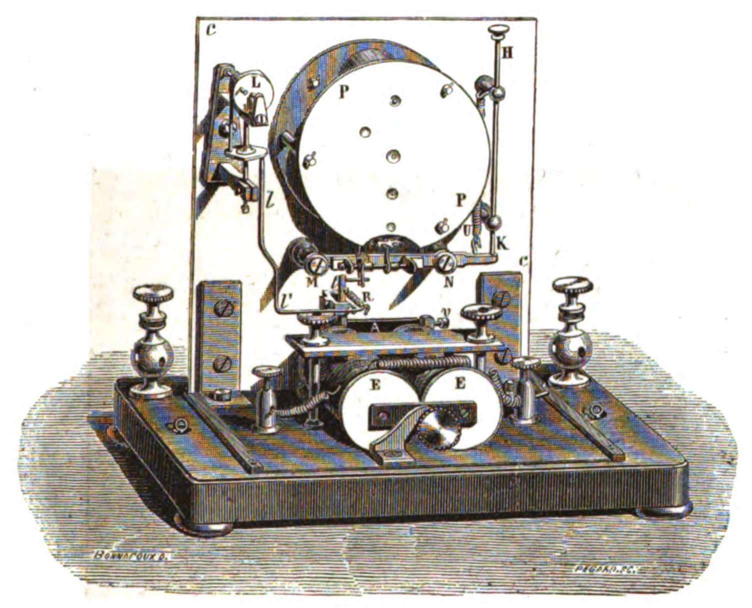
Nun entspricht jeder unpaarigen Zahl ein hervortretender, jeder paarigen Zahl ein eintretender Theil des Ausschnitts; wird demnach die Kurbel auf einer unpaarigen Zahl eingestellt, so federt $ll'$ gegen $p'$, steht aber die Kurbel auf einer paarigen Zahl, so berührt $ll'$ die Contactschraube $p$.

Die punctirten Linien in Figur 1 deuten die nicht sichtbaren Communicationen an. Es steht $p'$ mit der Klemme $C$ und diese mit dem Kupferpole der Batterie in Verbindung, während $p$ mit dem Receptor durch die Klemme $R$ communicirt. Das mit einem gewundenen Einschnitt versehene Rad communicirt mit den beiden Contacten $E,E$ die wiederum durch die Umschalter $L'L'$ mit den Luftleitungen in Verbindung gesetzt werden. $LN$ sind die Contacte für das Läutewerk. Der Receptor (Zeichenempfänger) ist in Figur 2 sichtbar, er




Figur 2.

trägt auf einem Zifferblatt die 25 Buchstaben des französischen Alphabets und ein Kreuz; diese Zeichen entsprechen 26 verschiedene Stellungen der Nadel. Die Nadel bewegt sich auf dem Zifferblatte von links nach rechts, wie der Zeiger einer Uhr; in der Ruhestellung steht sie auf dem Kreuze wie die Zeichnung zeigt.



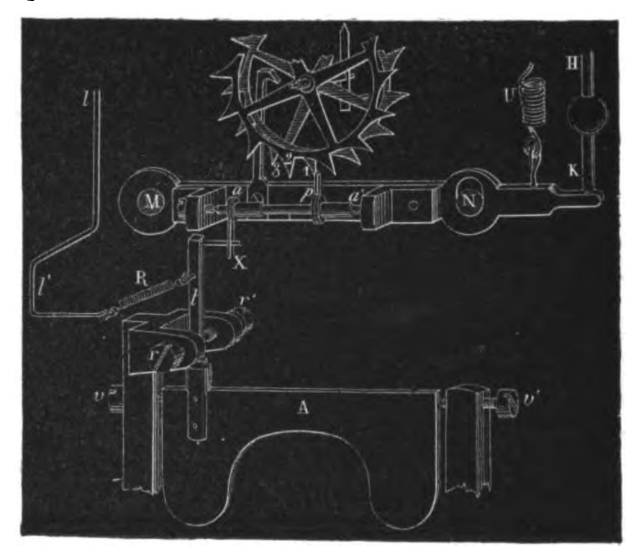

Figur 3.

In Figur 3 ist das Innere des Zeichenempfängers sichtbar, der Mahagonikasten ist abgehoben, dem Beschauer ist der dem Zifferblatte entgegengesetzte Theil zugekehrt, während die Nadel durch das Zifferblatt *cc* verdeckt wird. Die Platte *PP* enthält das Uhrwerk, welches der Nadel die Bewegung mittheilt.

Der Knopf *H* dient dazu, die Nadel durch eine einmalige Bewegung von jeder Stellung auf's Kreuz zurückzubringen. Durch Aufdrücken auf *H*, *K* wird der um *M* ein wenig drehbare Hebel *MN* mit *aa'* aus seiner horizontalen Lage herausgebracht, der Stift *p* entfernt sich von dem Echappementrade, und erlaubt demselben seine Umdrehung zu machen. Nun ist an *MN* ein Sperrhaken angebracht, gegen den ein auf dem Rade eingesetzter Stift schlägt, wenn die Nadel sich auf den Buchstaben *Z* gestellt hat. Lässt man den Knopf *H* los, so hebt sich *MN* mit *aa'* und dem Stift *p*, unter der Spannkraft der Feder *U*, der Sperrhaken lässt den Stift fahren, das Echap-

pementrad entweicht um einen Zahn; aber in demselben Augenblicke stellt sich $p$ in die Ebene des hintern Rades und die Nadel des Empfängers bleibt auf dem Kreuze stehen. Eine Vorrichtung $ll'$ erlaubt die Abreissfeder $R$ zu spannen oder nachzulassen, je nachdem die Intensität des Batteriestromes zu oder abnimmt.

Ein Electromagnet $EE$ wird durch Schrauben auf dem Sockel des Empfängers befestigt; $A$ ist der Anker, den zwei Schrauben $vv'$ so tragen, dass die Drehungsaxe in einer geraden Linie liegt, die durch $vv'$ geht. Der Ankerhebel $t$ (Figur 3a) wird durch die Con-




Figur 3a.

tactschraube $rr$ in seiner Bewegung regulirt, ein an seinem oberen Ende befestigter Stift steckt in einer Gabel $X$, die auf einem Stabe $aa'$ eingesetzt ist.

Dieses um seine Axe drehbare Stäbchen trägt eine Stahlplatte $p$, dieselbe arretirt das aus zwei aneinander gelegten Rädern zusammengesetzte Echappementrad. Jedes Rad hat 13 Zähne, die Zähne des hintern Rades befanden sich in der Mitte zwischen je zwei Zähnen des andern Rades. Das Echappementrad hat demnach die Ansicht eines 26 zahnigen Rades, von denen aber je 13 Zähne in einer Ebene liegen. Diese 26 Zähne entsprechen den 26 verschiedenen Stellungen der Nadel des Zifferblattes.

Geht nun ein Strom durch den Electromagneten $EE$ so wird der Anker $A$ angezogen, der Ankerhebel $t$ stösst mit dem in die Gabel $X$

eintretenden Stift gegen die hintere Zinke von $X$; der Stab $aa'$ dreht sich ein wenig um seine Axe und mit ihm der Echappementstift $p$, welcher einen Zahn des hinteren Rades entweichen lässt und sich in die Ebene des vorderen Rades so stellt, dass ein Zahn angehalten und das Echappementrad arretirt wird.

Das Echappementrad macht $^1/_{26}$ Umdrehung und die Nadel rückt auf dem Zifferblatte um einen Buchstaben fort.

Wird der Strom in dem Electromagnet unterbrochen, so zieht die Abreissfeder $R$ den Anker ab, der Stift des Ankerhebels stösst gegen die vordere Zinke der Gabel $X$, $p$ lässt einen Zahn des vorderen Rades entweichen und arretirt den nachfolgenden Zahn des hinteren Rades. Das Echappementrad macht wiederum $^1/_{26}$ Umdrehung und die Nadel rückt auf dem Zifferblatte ebenfalls um einen Buchstaben fort. Durch abwechselndes Senden und Unterbrechen des Stromes im Electromagnet $EE$ erhält die Nadel eine auf dem Zifferblatte von links nach rechts fortlaufende Bewegung.

Dieses abwechselnde Schliessen und Unterbrechen des Stromes geschieht nun durch den Manipulator in folgender Weise.

Wie eben gesagt communicirt in Figur 1 $p'$ durch die Klemme $C$ mit dem positiven Pole der Batterie, während $p$ mit der Klemme $R$ verbunden ist. Der Hebel $ll'$ communicirt vermittelst des ausgeschnittenen Rades mit den beiden Contacten $EE$, diese können durch zwei auf dem Sockel angebrachte Umschalter mit der Linienleitung verbunden werden. In Figur 1 steht links die Feder des Umschalters auf $E$, der Hebel $ll'$ ist demnach mit der Luftleitung in leitender Verbindung.

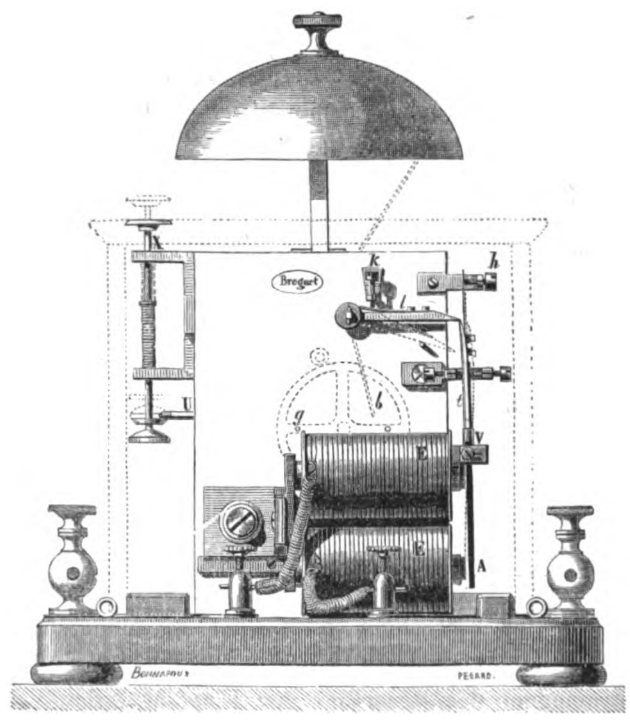
Steht die Curbel des Zeichengebers auf dem Kreuze, so berührt $ll'$ die Contactschraube $p$, wird dieselbe fortgerückt und auf $A$ eingestellt, so federt $ll'$ gegen $p'$; der Strom der Batterie durchläuft $ll'$, geht durch die Masse und einen unter dem Sockel befindlichen Kupferdraht nach $E$, von da nach $L$ in die Luftleitung, und auf der Empfangstation durch den Electromagnet des Receptors zur Erde. Die Nadel des Empfängers der anderen Station steht ebenfalls auf dem Kreuze wie der Manipulator der Absenderstation; dieses ist unumgänglich nothwendig beim Beginn der Uebersendung einer Depesche.

Geht nun bei Einsetzung der Curbel des Manipulators auf den Buchstaben $A$ der Scheibe ein Strom durch die Luftleitung und durch den Electromagnet des Receptors der Empfangstation, so wird der Anker im Empfänger vom Electromagnete angezogen, der Stift lässt

einen Zahn des Echappementrades entweichen, die Nadel rückt auf dem Zifferblatte um einen Buchstaben fort und bleibt demnach auf *A* stehen. Rückt man die Curbel des Manipulators auf der Absendestation von *A* nach *B* fort, so verlässt der Hebel *ll'* die Schraube *p'*, der Strom wird unterbrochen, der Electromagnet auf der Empfangstation wird unmagnetisch, es zieht die Abreissfeder den Anker ab, der Stift *p* des Stabes *aa'* lässt wiederum einen Zahn des Echappementrades entweichen, und die Nadel rückt auf dem Zifferblatte von *A* auf *B* fort.

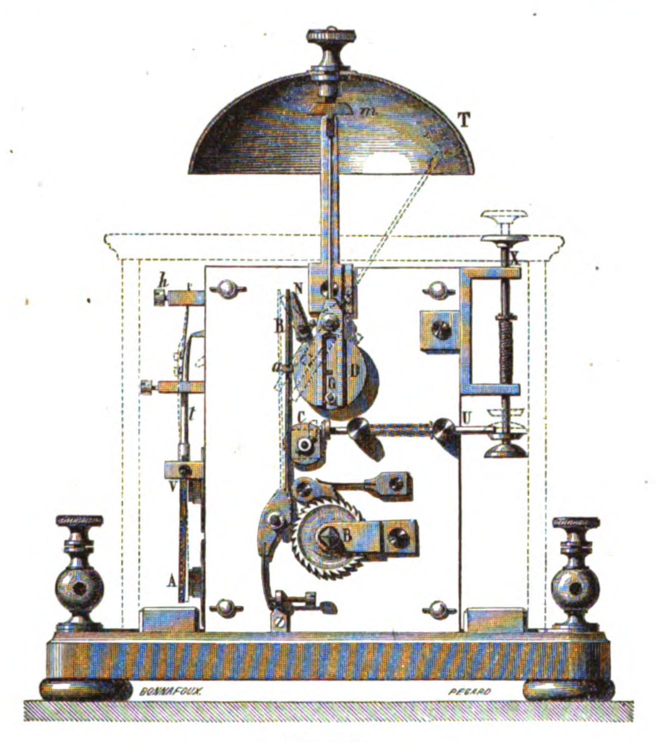
Durch abwechselndes Schliessen und Unterbrechen des Stromes im Manipulator wird das Fortrücken der Nadel des Receptors bewirkt, die jedesmal auf dem Buchstaben stehen bleibt, auf dem die Curbel des Zeichengebers angesetzt ist.

Das Läutewerk besteht aus einem Uhrwerke, welches durch eine Scheibe mit excentrisch angesetztem Stifte den Klöppel in Bewegung setzt, sobald durch Anziehung des Ankers durch den Electromagnet *EE* die Auslösung erfolgt ist. Figur 4 zeigt den Electro-




Figur 4.

magnet $EE$, der Anker $A$ ist in $v$ um die Achse zweier Schrauben wie beim Receptor drehbar. Am Ankerhebel $t$ ist eine Spannfeder angebracht, diese wird vermittelst der Schraube $h$ regulirt. Auf der Spitze von $t$ ruht mit seinem äussersten Ende ein drehbarer Hebel $l$; eine Spannfeder mit einer Schraube $k$ dient dazu, den Hebel mehr oder weniger in der Richtung von oben nach unten zu spannen.




Figur 5.

In der Vorderansicht (Figur 5) ist die Scheibe mit dem Hammer sichtbar. $B$ ist die Axe der Trommel der Uhrfeder, $R$ eine Feder die dazu dient, die Scheibe $A$ anzuhalten. Ein Stift $a$ der Scheibe greift nämlich in einen Einschnitt der Feder ein, so lange letztere sich in der, in Figur 5 gezeichneten Verticallage befindet. $N$ ist ein keilförmiges Stück, vermöge dessen $R$ aus seiner Verticallage gebracht wird.

Wird nun ein Strom in den Electromagnet $EE$ gesandt, so verlässt der Ankerhebel $t$ seine Verticallage, lässt den Hebel $l$ fallen; das Stück $N$, welches mit $l$ auf derselben Axe befestigt ist, macht

eine Bewegung nach links und drückt die Feder *R* von der Scheibe *D* ab. Die Scheibe *D* trägt einen excentrisch aufgesetzten Stift *G*, der sich zwischen den Zinken der Gabel des Hammers bewegt, und dem letzteren eine schwingende Bewegung mittheilt, so lange die Scheibe *D* in ihrer rotirenden Bewegung von *R* nicht aufgehalten wird.

Auf einem in Figur 4 punctirten Rade ist ein Stift *g* eingesetzt, derselbe hebt vermittelst des Stabes *b* den Hebel *l* und bringt ihn in seine erste Lage wieder zurück. Das auf einer Axe mit *l* befindliche keilförmige Stück *N* entfernt sich von *R*, und *D* wird in seiner Bewegung aufgehalten. Damit dieses jedoch nicht zu früh geschehe und man eine genügende Anzahl Glockenschläge erhalte, so dreht sich bei der Bewegung des Uhrwerkes eine an der, der Feder *R* zugekehrten Seite etwas abgeschnittene Scheibe *C* mit, und verhindert *R* die Scheibe *D* anzuhalten. Steht der abgeschnittene Theil von *C* der Feder *R* gegenüber, so kann die letztere die Scheibe *D* anhalten, was gewöhnlich erfolgt, wenn *C* eine halbe oder eine ganze Umdrehung gemacht hat. In Figur 5 ist *C* an zwei Seiten abgeschnitten, in den neueren Läutewerken ist nur ein Abschnitt vorhanden. Die Vorrichtung *X* dient dazu, dem Telegraphisten bei Abwesenheit anzuzeigen, dass die Glocke geläutet hatte. Der Stab *X* wird von *U* abgehalten, unter der Einwirkung der Feder aufzuschnellen, setzt sich aber das Läutewerk in Bewegung, so schiebt ein auf der Achse von *C* befindlicher Stift das Stück *U* bei Seite, die Feder drückt den Stab *X* in die Höhe, der Knopf tritt aus dem Kasten heraus und nimmt die in Figur 5 punctirte Stellung ein. Ein Druck auf den Knopf genügt um für den Empfang bereit zu stellen.

### Breguet's und Crossley's Zeigertelegraph.

Der Zeigertelegraph, bekannt unter dem Namen Breguet und Crossley, hat besonders für Fabriken, Regierungsgebäude etc., sowohl in England als auch in Frankreich, vielfache Anwendung gefunden. Er ist nur für kürzere Strecken bestimmt; die Entfernung auf der er benutzt wird, übersteigt gewöhnlich nicht $2^1/_2$ deutsche Meilen. [1])

In einem Mahagonikasten (Tafel XXIV Figur 6) ist ein Manipulator, ein Receptor und ein Wecker enthalten. Der Zeichengeber und der Zeichenempfänger sind beide nach dem Principe der Bre-

1) Dieser Apparat, sowie sämmtliche Breguet'sche Apparate können durch meine physikalische Anstalt bezogen werden. Carl.

guet'schen Eisenbahnzeigertelegraphen construirt; es sind nur die Dimensionen beider Theile kleiner gehalten.

*K* ist die Klemme für den Kupferpol der Batterie, *L* für die Luftleitung; die in der Zeichnung punctirte Klemmschraube *E* communicirt mit der Erde.

Wie in dem Breguet'schen Manipulator steht die Schraube *k* mit *p'*, *L* mit *p* in Verbindung. Die Contactschraube *p* ist ausserdem vermittelst einer Drahtleitung mit dem Stifte *b* verbunden.

Das Innere des Receptors ist in Tafel XXIV Figur 7 sichtbar, ebenso der Wecker, beide Theile nehmen die obere grössere Hälfte des Kastens ein.

Die wesentlichen Theile des Empfängers sind der Electromagnet *FF*, der Ankerhebel *h* mit den Stiften *ss'*, das Echappementrad *r* mit der auf seiner Achse und auf der Aussenseite des Receptors befindlichen Nadel *z*. Geht nun der Strom in den Electromagneten, so macht der Ankerhebel eine Bewegung, und ein Zahn des Echappementrades entweicht. Die Nadel hat sich um einen Buchstaben fortbewegt. Wird der Strom unterbrochen, so nimmt der Ankerhebel *h* seine erste Lage wieder ein, es entweicht wiederum ein Zahn des Rades *r* und so fort.

Das Läutewerk ist ein Wecker mit Stromunterbrechung. Die Feder *t* (Tafel XXIV Figur 6) communicirt mit dem positiven Pole der Batterie; der Strom geht durch den Anker *s* und durch *u* in den Electromagnet *GG* und von da zur Erde. *GG* wird magnetisch, zieht *s* an, der Anker entfernt sich von der Feder *t* und der Strom der Batterie wird unterbrochen. In demselben Augenblicke hört der Electromagnet auf, magnetisch zu sein, *s* kehrt zu seiner Ruhelage zurück, berührt die Feder *t* und der Strom ist von Neuem geschlossen. Eine Reihe von Schliessungen und Unterbrechungen des Stromes theilt dem Klöppel eine sehr rasche Bewegung mit, die so lange andauert, als die Feder *t* mit der Batterie leitend verbunden ist.

Die Verbindungen sind in dem Crossley'schen Telegraphen auf folgende Weise hergestellt. Ist der Kasten geschlossen, so ist der Wecker durch eine in Tafel XXIV Figur 8 gezeigte Vorrichtung mit der Luftleitung verbunden. Die Feder *d* communicirt durch den Hebel und die linke Contactschraube des Manipulators mit der Klemme *T*. Der Stift *a* steht mit dem Electromagnet des Weckers, das Stück *c* mit dem Receptor in Verbindung. Ist der Apparat geschlossen, so geht der Linienstrom durch die Feder *d*, das Stück *b* und den Stift *a*

des Scharnier *S* zu dem Wecker. Oeffnet man den Kasten, so hebt sich die Feder *d*, berührt das Contactstück *C* und stellt die Verbindung zwischen Linienleitung und Empfänger her.

*H* ist eine Vorrichtung zur Regulirung der Abreissfeder, wie sie in den Breguet'schen Receptoren gebräuchlich ist. Der Crossley'sche Apparat vereinigt das Praktische mit dem Eleganten, der Raum, den er einnimmt, ist ein geringer. Das Aufstellen desselben bietet keine Schwierigkeiten selbst für denjenigen, dem die Telegraphie durchaus fremd ist.

## Bernier's Modification für Läutewerke.

Bernier, Controleur der Paris-Orleaner Eisenbahn, hat eine Vorrichtung an den auf den französischen Eisenbahnen üblichen Breguet-schen Läutewerken getroffen, die ermöglicht, auf der das Zeichen gebenden Station zu constatiren, ob die Glocke auf der Empfangstation geläutet hat oder nicht.

Eine solche Vorrichtung wird sehr erwünscht zur Controle der Eisenbahnstationen untergeordneten Ranges, auf welchen kein besonderer Telegraphist gehalten wird, und der Telegraph der Obhut des Stationsvorstehers oder eines andern Eisenbahnbeamten anvertraut ist.

Es ist dem Eisenbahnbeamten nicht mehr möglich, bei Versäumung einer Rückantwort die Schuld auf das Läutewerk oder auf die Drahtleitung zu schieben. Das Läutewerk wird durch ein Uhrwerk getrieben, der Electromagnet hat keine andere Function, als die Auslösung zu bewirken. Da nun ein einmaliger Strom hinreicht, um das Läutewerk in Bewegung zu setzen, so kann nach der Unterbrechung eine Anzahl von Strömen durch dieselbe Leitung nach der Absendestation zurückgeschickt werden, welche die Nadel des Receptors jener Station um eine gewisse Anzahl von Buchstaben fortrücken lässt. Dieses Fortrücken der Nadel zeigt der entsprechenden Station an, dass das Läutewerk der Empfangstation functionirt hat.

Die Vorrichtung zur Rücksendung der Ströme ist folgende:

Die Feder *f* (Tafel XXVII Figur 15) ist mit der Klemme *L* der Luftleitung verbunden, dieselbe berührt in der Ruhelage eine in der Figur nicht gezeichnete, oberhalb *o* befindliche Contactschraube, welche mit dem Electromagnet in leitender Verbindung steht.

Die Schraube *t* ist mit *k* verbunden, in *k* ist der positive Pol einer Localbatterie eingeklemmt.

Ein mit dem Uhrwerk in Verbindung stehendes Rad *r* ist mit Stiften *s* versehen, deren Zahl durch Einsetzen oder Ausnehmen nach Belieben vermehrt oder verringert werden kann. Gegen die Stifte federt ein knieförmig gebogener Hebel *h*, der in *q* seinen Drehpunkt hat. Eine in der Figur nicht gezeichnete Feder drückt den Hebel gegen die Stifte des Rades *r*.

Wird nun ein Strom durch *L* und die Feder *f* in den Electromagnet gesandt und dann unterbrochen, so setzt sich das Läutewerk in Bewegung, das Rad *r* macht eine ganze Umdrehung, die auf demselben eingesetzten Stifte drücken den Hebel *h* bei jedesmaliger Berührung zurück, diese dreht sich ein wenig um *q* und drückt mit dem Ende *g* die Feder *f*, auch die Contactschraube *t* nieder. Die Zahl des Contacte mit *t* entspricht der Anzahl der Stifte *s*. Berührt nun *f* die Schraube *t*, so geht der Strom der Localbatterie durch die Luftleitung in den Receptor der andern Station und von da zur Erde.

### Guillot und Galgets magnetoelectrischer Zeigertelegraph.

Guillot, Inspector der Telegraphen der Paris-Orleaner Eisenbahn, hat eine Modification der Breguet'schen Zeigertelegraphen in soweit vorgenommen, als er am Manipulator einen permanenten Magneten angebracht und somit die hydrogalvanische Batterie beseitigt hat. Bekanntlich war Stöhrer in Leipzig der erste, dem es gelang, durch Magnetinduction den Betrieb von Zeigertelegraphen zu ermöglichen. Die ausgezeichneten magnetoelectrischen Zeigertelegraphen von Simens und Halske und Wheatstone haben seitdem in Deutschland, Schweden, Russland und England einen grossen Theil der alten electromagnetischen Zeigertelegraphen verdrängt.

Nicht so in Frankreich, wo beinahe alle Eisenbahnen sich des Breguet'schen Zeigertelegraphen mit hydrogalvanischer Batterie bis auf den heutigen Tag bedienen. Eine Modification dieses praktischen Telegraphen für Eisenbahnzwecke hat nur Guillot vorgenommen, er hat diese Aufgabe befriedigend gelöst, denn seine Apparate arbeiten mit Präcision seit mehr als einem Jahre auf der Eisenbahnlinie von Paris nach Orleans.

Der Apparat besteht wesentlich aus einem Manipulator, einem Receptor und einem Breguet'schen Läutewerke.

Unter dem Sockel des Manipulators (Tafel XXV Figur 9 u. 10) befindet sich ein Hufeisenmagnet *J*, auf seinen Schenkeln sind vier

Bobinen mit ihren Eisenkernen so angeschraubt, dass je zwei einem und demselben Pole entsprechen; die Eisenkerne $N$ und $N'$ entsprechen dem Nordpole, $S$ und $S'$ dem Südpole des Magnets. Bekanntlich entwickelt sich unter dem Einflusse des Magnets in den dem letzteren zugekehrten Enden der Eisenkerne ein entgegengesetzter Pol, während die dem Anker $A$ zugewendeten Enden gleiche Pole mit dem Magnete besitzen. $N$, $N'$ sind demnach Nordpole, $S$ und $S'$ Südpole, entsprechend der Polarität der Schenkel des Magnets. — Um die Achse $p$ (Tafel XXV Figur 9, 10) dreht sich ein Anker aus weichem Eisen $A$, dem die Bewegung, durch die Kurbel $M$, vermittelst zweier Triebräder $r$ und $r'$ mitgetheilt wird. $r$ ist ein 20zahniges, $r'$ ein 130zahniges Triebrad. Bei jedem Fortschreiten der Kurbel von einem Buchstaben zum andern rückt $r'$ um $^1/_{26}$ seiner Peripherie fort, zu gleicher Zeit macht $r$ eine Viertelumdrehung, der Anker $A$ verlässt $N$, $S'$ und bleibt über $S$, $N'$ stehen.

Durch das Entfernen des Ankers von $N$, $S'$ entsteht ein Inductionsstrom in den entsprechenden Bobinen, der gleiche Richtung mit dem Strome der Kerne hat. Zu gleicher Zeit entsteht in den, den Kernen $S$, $N'$ entsprechenden Bobinen durch Annäherung des Ankers ebenfalls ein Strom, dieser ist aber dem Strome der Eisenkerne nach Ampère's Theorie entgegengesetzt.

Um nun den beiden Strömen in $N$, $S'$ und $S$, $N'$ eine gleiche Richtung zu geben, hat man den Draht der Bobinen entsprechend zu verbinden. Ist der durch Entfernen des Ankers von $N$, $S'$ und Annähern von $S$, $N'$ erzeugte Inductionsstrom in den vier Bobinen ein positiver, so ist natürlich der durch Entfernen von $S$, $N'$ und Annähern an $S'$, $N$ hervorgebrachte Strom ein negativer. Die Bobinen sind so unter einander verbunden, dass $S'$ einerseits zur Erde geht, anderseits durch $S$, $N$, $N'$ mit der Linienleitung communicirt. Bei jedem Fortrücken und Ansetzen der Kurbel auf einen Buchstaben der Scheibe verlässt der Anker zwei Bobinen und nähert sich zweien, man hat also wechselweise positive und negative Ströme.

Eine einfache Vorrichtung erlaubt bei jedem Einsetzen der Kurbel $M$ in einem Randeinschnitt der Scheibe, den Receptor der Luftleitung in Verbindung zu setzen. In die Achse $P$ der Kurbel $M$ ist ein Stab $v$ eingelassen (Tafel XXV Figur 11); wird nun die Kurbel $M$ niedergelassen, so drückt sie bei $t$ den runden Stab $v$ nieder. Seinerseits drückt $v$ durch das Querstück $w$, $g$ nieder, das Scheibchen $y$

(Tafel XXV Figur 10) entfernt sich von der Schraube *n* und berührt mit seinem untern Theile die Feder *l*. Nun ist aber *l* durch einen Draht mit dem Receptor in Verbindung, während bei *k* der Draht der vier Inductionsbobinen eingeklemmt ist.

Hebt man die Kurbel *M* aus dem Einschnitt heraus, um den in den Bobinen entwickelten Strom in die Luftleitung zu senden, so hebt sich *g* mit der Scheibe *y* unter dem Druck der Scheibe *f* oder *f'*, *y* berührt die Schraube, der Strom geht durch *k*, *n* und *y* in die Metallmasse, von da nach *L* und in die Leitung. Senkt man die Kurbel und stellt sie an einen Seiteneinschnitt der Scheibe, so senkt sich *y* ebenfalls, berührt *l* und stellt die Verbindung der Linienleitung mit dem Receptor durch die Klemme *k* her. Der Receptor ist dem Breguet'schen Receptor sehr ähnlich, da aber der Strom bei jeder Bewegung des Manipulators wechselt, so musste eine Einrichtung getroffen werden, um die Nadel des Empfängers gleichmässig mit der Kurbel des Zeichengebers der Absendestation fortzubewegen.

Dieses erlangt Guillot auf folgende Weise: *MM* und *M'M'* (Tafel XXVI Figur 12 u. 13) sind zwei Electromagnete, die sich mit entgegengesetzten Polen gegenüber stehen, wenn ein Strom beide durchfliesst. Beide Electromagnete sind so unter einander verbunden, dass ein Strom von der Klemme *L* durch *M'M*, dann durch *MM* zur Klemme *E* geht, die ihrerseits mit der Erde communicirt. Zwischen *MM* und *M'M'* bewegt sich ein um *tt* drehbarer galvanischer Anker *c*, dessen Hebel *d* in eine Gabel *e* eingreift. — Zwei seitliche Schrauben *z*, *z'* dienen zur Regulirung der Bewegung des Ankerhebels.

Die Gabel *e* sitzt an einem Stabe *y*, dessen entgegengesetztes Ende *g* zwei Stifte trägt, welche die Function eines Echappementankers verrichten.

Durch die Bewegung des Ankers nach rechts und links wird bald der eine Stift bald der andere in die Ebene des Echappementrades gebracht, bei jeder Bewegung dreht sich demnach das Rad *r* um ein Stück fort. Der Anker hat zwei Lappen, sichtbar in Tafel XXVI Figur 13, jeder entspricht einem Pole und bewegt sich zwischen zwei entgegengesetzt polarisirten Eisenkernen der Electromagnete *MM* und *M'M'*, wenn ein Strom dieselbe durchfliesst. Steht die Nadel auf dem Kreuze, so liegt der Anker *e* am Electromagneten *M'M'*.

Durch das Fortrücken der Curbel des Manipulators vom Kreuze auf dem Buchstaben *A* der Scheibe wird ein Strom durch die Klemme

*L* in die Electromagnete des Receptors gesandt, der dem Anker *c* gleiche Pole in *M'M'* und entgegengesetzte in *MM* entwickelt; der Anker wird von *MM* angezogen und von *M'M'* abgestossen. Der Ankerhebel *d* macht eine Bewegung nach rechts, es lässt der Stab *y* einen Zahn des Echappementrades entweichen, die Nadel des Receptors macht eine Bewegung und bleibt auf dem Buchstaben *A* des Zifferblattes stehen.

Bewegt sich die Curbel des Zeichengebers noch um einen Buchstaben fort, von *A* auf *B*, so wird ein dem vorhergehenden entgegengesetzter Strom in die Electromagnete des Zeichenempfängers fliessen, der Anker nähert sich von Neuem dem Electromagnete *M'M'*, es macht der Ankerhebel *d* eine Bewegung nach links, der Stab *y* lässt von Neuem einen Zahn des Rades *r* entweichen und die Nadel des Receptors rückt von *A* nach *B* fort.

Da der Manipulator abwechselnd positive und negative Ströme sendet, so macht der Anker des Receptors wechselweise Bewegungen nach rechts und nach links und jedesmal rückt das Echappementrad *r* um $^1/_{26}$ seiner Peripherie fort.

Es ist selbstverständlich, dass für diesen Zeichenempfänger keine Abreissfeder nothwendig ist.

## Digney's Morse'scher Farbschreiber.

Der Morse'sche Farbschreiber von Digney ist in Frankreich beinahe allgemein auf den Bureau's des Staatstelegraphen in Gebrauch. Bekanntlich war John, ein österreichischer Ingenieur, der erste, der den Stift durch ein Röllchen mit färbender Dinte, also die Reliefschrift durch Farbeschrift ersetzte. Seine Versuche führten Andere zu vortheilhaften Modificationen, von denen die der Gebrüder Digney jedenfalls eine der gelungensten ist. Die nach Digney vorgenommene Modification hat auch in andern Ländern vielfache Anwendung gefunden. In den gewöhnlich gebräuchlichen Farbschreibern ist das Druckröllchen am Ankerhebel befestigt; sobald ein Strom den Electromagnet durchfliesst, wird der Ankerhebel mit dem Röllchen gegen den Papierstreifen gedrückt, auf welchem ein farbiger Eindruck zurückbleibt.

Bei dem Digney'schen Apparate ist das Druckröllchen über dem Papierstreifen unabhängig vom Anker so angebracht, dass es sich um seine Achse drehen kann. Unterhalb des Papiers befindet sich

der an seinem äussersten Ende hakenförmig gebogene Ankerhebel. Durchfliesst nun der Strom den Electromagneten, so wird der Anker angezogen, das gebogene Ende des Hebels drückt den Papierstreifen aufwärts gegen das mit Farbe versehene Druckröllchen. Auf dem Papierstreifen kommen Puncte oder Striche zum Vorschein, je nachdem der Strom kürzer oder länger den Electromagnet durchfliesst.

Der Digney'sche Farbschreiber hat den grossen Vortheil, dass ein schwacher Strom hinreicht, deutliche Zeichen auf dem Papiere hervorzubringen; sein Ankerhebel ist auf ein äusserst kleines Volumen, wenn mit anderen Modificationen verglichen, reducirt.

### Der Typendrucktelegraph von Digney und Lippens.

Eine weitere Modification des Morse'schen Telegraphen ist der Typendrucktelegraph von Lippens und Digney. Der Manipulator trägt ein Zifferblatt mit dem Alphabet und den entsprechenden Ziffern, in der Mitte desselben sitzt ein um seine Achse drehbarer Zeiger. Rund um das Zifferblatt sind Knöpfe angebracht, deren Zahl der Zahl der Buchstaben des Alphabets entspricht. Diese Knöpfe sind zum Niederdrücken, sie dienen dazu, die Batterie mit der Luftleitung in Verbindung zu setzen, und auf der Empfangsstation den entsprechenden Buchstaben auf dem Papierstreifen hervorzubringen.

Der Empfänger hat ganz die Form des Morseschreiber; anstatt des Druckröllchens ist aber ein Typenrad angebracht, der Ankerhebel des Electromagneten hat, wie in dem Schwarzschreiber, die Function, das Papier gegen das Rad zu drücken. Auf der dem Typenrad entgegengesetzten Seite des Apparates befindet sich ein zweiter Electromagnet mit polarisirtem Anker; die Schwingungen dieses Ankerhebels setzen das Uhrwerk und mit ihm das Typenrad in Bewegung. Ein auf dem Sockel angebrachtes Relais dient dazu, den Strom einer Localbatterie zu schliessen, welcher durch den Electromagnet des Druckers geht. Einer jedesmaligen Schliessung der Localbatterie folgt ein Aufdrücken eines Buchstabens auf dem Papierstreifen.

Der Zeiger des Manipulators wird durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt, sobald einer der im Kreise stehenden Knöpfe niedergedrückt worden ist. Durch einen Commutator bringt der Zeiger bei einer ganzen Umdrehung die Luftleitung abwechselnd mit dem positiven und mit dem negativen Pole einer Batterie in Verbindung. Diese mit einander abwechselnden Ströme gehen in den Electromagnet des

Empfängers, an dem der polarisirte Anker angebracht ist. Durch den Wechsel der Pole des Electromagnets erhält der Anker eine vibrirende Bewegung; bei jeder Bewegung rückt das Typenrad um einen Buchstaben fort. Ist der Zeiger des Empfängers mit dem Typenrade auf das Kreuz eingestellt, so wird auf der Empfangstation der Buchstabe genau abgedruckt werden, auf dem auf der Absendestation der Zeiger arretirt worden ist.

Die in den Electromagnet gesandten Ströme gehen gleichzeitig durch das Relais; durch dessen Ankerhebel der Strom der Localbatterie für den Electromagnet des Druckapparates geschlossen wird. Nun sind aber die durch den Manipulator in den Receptor gesandten Ströme von zu kurzer Dauer, um das Relais vollständig zu magnetisiren, so lange der Zeiger des Zeichengebers in Bewegung ist. Wird aber der Zeiger arretirt, so geht ein längerer Strom in die Linienleitung und in das Relais der Empfangstation, der Ankerhebel des letzteren wird vollständig angezogen und dadurch der Strom der Localbatterie geschlossen, der durch den Electromagnet des Druckers geht. In dem Augenblicke also, wo der Zeiger auf der Absendestation über dem zu telegraphirenden Buchstaben stehen bleibt, und auf der Empfangstation derselbe Buchstabe des Typenrades dem Papierstreifen gegenübersteht, schliesst der längere Strom die Localbatterie, und das Relais zieht den Ankerhebel an. Der Ankerhebel drückt den Papierstreifen gegen das Typenrad und es kommt auf dem Papier der Buchstabe zum Vorschein, über dem auf der Absendestation der Zeiger des Manipulators arretirt worden ist.

So lange nun der Knopf des Zeichengebers auf der Absendestation niedergehalten wird, ist der Strom der Localbatterie auf der Empfangstation geschlossen; der Ankerhebel des Relais, der den Papierstreifen gegen das Typenrad drückt, bleibt an dem Rade so lange liegen, bis man durch Loslassen des Knopfes den Linienstrom, und dadurch den Strom der Localbatterie unterbricht. Der Ankerhebel kehrt in seine Ruhelage zurück, gleichzeitig rückt der Papierstreifen vermöge eines mit dem Anker in Verbindung stehenden Mechanismus um ein Stück fort.

### Der Typendrucktelegraph von d'Arlincourt.

Der Typendrucktelegraph von d'Arlincourt hat in Frankreich vielfache Anwendung gefunden, die französische Telegraphendirection,

sowie mehrere Eisenbahnverwaltungen bedienen sich desselben mit Vortheil. Der Vorzug dieses Telegraphen ist die Einfachheit mit der er manipulirt werden kann; er ist für kleinere Stationen, die nicht von speciellen Beamten bedient werden, besonders nützlich. Die kleinen Bureaus in der Umgebung von Paris, sowie in einigen Departements, sind mit diesem Telegraphen versehen, ebenso functionnirt er auf der Centralstation der französischen Nordbahn von Paris nach Boulogne (254 Kilometer). Der Apparat besteht aus einem Zeichengeber und einem Zeichenempfänger, die beide in einem viereckigen Kasten vereinigt sind.

In diesem Kasten befindet sich ein Zifferblatt mit einem Zeiger in der Mitte. Auf dem Zifferblatte sind kreisförmig wie bei einer Uhr die Buchstaben des Alphabetes verzeichnet. Rings im Kreise, der Zahl der Buchstaben entsprechend, sind Knöpfe angebracht, bei deren Niederdrücken der Strom in die Luftleitung und in den Apparat der Empfangstation gesandt wird; dieselben haben die Function des Manipulators. Auf der Vorderseite befindet sich das Typenrad, die horizontale Axe dieses Rades dreht sich gleichmässig mit der verticalen Axe des Zeigers, vermittelst zweier Riegelräder, so dass bei einer Umdrehung des Typenrades der Zeiger ebenfalls eine ganze Umdrehung gemacht hat. Ein Uhrwerk mit Echappement treibt den Zeiger mit dem Typenrade; die Auslösung wird durch den Ankerhebel eines Electromagnets bewirkt.

Unterhalb des Typenrades befindet sich ein Papierstreifen, derselbe wird gegen das Rad gedrückt, sobald der zu druckende Buchstabe sich dem Papier gegenüber gestellt hat. Der Druckapparat wird durch ein besonderes Uhrwerk in Bewegung gesetzt. Die Auslösung geschieht ebenfalls durch einen Electromagneten. Der Strom der Localbatterie für den letzteren wird durch den Ankerhebel des Electromagneten für das Uhrwerk des Typenrades und Zeigers geschlossen.

Der Gang des Apparates ist folgender: Drückt man einen der das Zifferblatt umgebenden Knöpfe nieder, so wirkt ein unter den Knöpfen liegender Ring auf einen Doppelhebel, dieser Hebel setzt die Batterie mit der Luftleitung in Verbindung. Der Strom verzweigt sich, bevor er in die Linienleitung tritt, ein Theil geht durch den Electromagneten des Typenrades, während der andere zum Apparate der Empfangstation gelangt. Da des kurzen Schlusses wegen der

ganze Strom seinen Weg durch den Electromagneten des Apparates nehmen würde, so ist in der Kette des letzteren eine Widerstandsrolle von 100 Kilometern (circa 1000 S. Einheiten) eingeschaltet.

Der gleichzeitig in die Electromagnete der Absende- und Empfangstation fliessende Strom magnetisirt die Rollen, beide Ankerhebel werden angezogen und lassen die Echappementräder um einen Zahn fortrücken. Nun sind auf der Axe des Zeigers 3 isolirte Räder angebracht, gegen die Federn schleifen. Die Function derselben ist beim Senden die Communication der Batterie mit der Luftleitung abzubrechen oder herzustellen und zu gleicher Zeit während jeder Unterbrechung des Stromes die Linienleitung mit der Erde in Verbindung zu setzen.

Zu diesem Zwecke sind zwei Räder, das obere und das untere, mit 13 Zähnen versehen, die Intervalle bestehen aus einer isolirenden Masse. Die Federn, welche gegen die Räder schleifen, ruhen bei je $^1/_{26}$ Umdrehung des Echappementrades bald auf einem metallischen Zahne, bald auf der isolirenden Holzmasse. Das dritte Rad wird später näher besprochen werden.

Der positive Pol der Batterie steht mit der Axe des Zeigers in Verbindung, die Feder des unteren Rades communicirt mit einer Klemme, von wo der Strom sich in die Luftleitung und in den Electromagneten des Typenrades verzweigt. Das obere Rad steht vermöge eines kleinen Hebels mit dem negativen Pole der Batterie in Verbindung, während die schleifende Feder mit dem Electromagneten des Typenrades communicirt.

Wird nun zum Senden vermittelst eines Knopfes der Doppelhebel niedergedrückt, so geht der Strom durch die Zeigeraxe, das untere Interruptionsrad, die Feder, den rechten Hebelarm, zur Klemme, von wo der Strom einerseits in die Luftleitung, andrerseits durch die Widerstandsrolle in den Electromagnet des Typenrades geht, und durch den linken Hebelarm, die Feder, das obere Interruptionsrad und den kleinen Hebel derselben zum negativen Pole der Batterie zurückkehrt.

Zieht der Electromagnet den Ankerhebel an, so entweicht ein Zahn des Echappementrades, die Interruptionsräder machen eine $^1/_{26}$ Umdrehung, die schleifenden Federn verlassen den Metallzahn und es unterbricht die isolirende Holzmasse gleichzeitig den Strom der Linien- und Localleitung. Der Electromagnet wird unmagnetisch, das

Echappementrad dreht sich wiederum ein wenig, die beiden isolirenden Räder rücken abermals um $^1/_{26}$ ihres Umfanges fort; es kommen die Federn mit den metallischen Zähnen in Berührung und der Strom ist von Neuem geschlossen. Während einer Stromunterbrechung wird vermittelst der schleifenden Feder des oberen Rades und des mittleren Rades, von dem oben die Rede war, eine Verbindung zwischen der Luftleitung und der Erde hergestellt. Die Feder ist hakenförmig so gebogen, dass sie das mittlere Rad in dem Augenblicke berührt, wo sie einen Zahn verlässt und in den isolirenden Einschnitt tritt. Eine gegen das mittlere Rad schleifende Feder ist mit der Erdleitung verbunden.

Diese Vorrichtung ermöglicht die Empfangstation, die Absendestation jedesmal zu unterbrechen, wenn dieses nöthig erscheinen sollte. Berührt nämlich zwischen zwei Emissionen die Feder des oberen Rades das mittlere kleinere Rad, so ist der Strom geschlossen, sobald auf der Empfangstation ein Knopf niedergedrückt wird. Der Ankerhebel der Absendestation bleibt angezogen und arretirt das Typenrad und den Zeiger, der Telegraphist erkennt sogleich, dass die Empfangstation ihn unterbrochen hat, beide Stationen stellen die Zeiger ihrer Apparate auf das Kreuz und beginnen von Neuem zu sprechen.

Auf der Empfangstation nimmt der von der Absendestation ankommende Strom folgenden Weg. Die Klemme der Luftleitung communicirt mit einer Feder und einem Hebel, durch den der Strom zum Electromagnet des Typenrades gelangt. Die Widerstandsrolle ist hier ausgeschaltet, sie ist nur dann in die Leitung eingeschaltet, wenn der Doppelhebel niedergedrückt wird, da der Strom dann, um zur Klemme und der Luftleitung zu gelangen, einen andern Weg nehmen muss. Vom Electromagnet geht der Strom in den linken Hebelarm des Doppelhebels, von da in eine Metallsäule, die mit der Erde communicirt. Diese Metallsäule ist vom Hebel isolirt, wenn dieser vermittelst eines Knopfes niedergedrückt, also der Apparat zum Senden benützt wird.

Wie oben bemerkt wurde, ist noch ein zweiter Electromagnet in jedem Apparate vorhanden, der das Drucken versieht.

Unterhalb des Typenrades befindet sich an einem Hebel ein Hammer; eine Excentrik in Form eines Dreiecks ist auf der Axe eines Echappementrades so befestigt, dass die an dem Druckerhebel befindliche Feder gegen die Excentrik schleift.

Auf dem Echappementrade sitzen 3 Stifte, jedesmal wenn ein Strom durch den Electromagnet des Druckers geht, lässt der Ankerhebel, an dessen Ende ein Stäbchen befestigt ist, einen Stift entweichen, das Echappementrad macht $^1/_3$ Umdrehung und mit ihm die auf derselben Axe befindliche Excentrik, die Feder des Druckerhebels wird in die Höhe geschnellt, und der Hammer drückt den Papierstreifen gegen das Typenrad.

Es ist schon bemerkt worden, dass der Strom der Localbatterie durch den Hebel des Electromagnets des Typenrades geschlossen ist, sobald der Ankerhebel in längerem Contacte mit zwei Schrauben bleibt, die mit dem negativen Pole der Batterie communiciren.

Da nun die Contacte des Ankerhebels mit den Schrauben bei den schnell auf einander folgenden Emissionen nur von sehr kurzer Dauer sind, so wird der Electromagnet des Druckers nur dann magnetisirt, wenn durch Arretirung des Zeigers beim Niederdrücken des Knopfes der Ankerhebel längere Zeit mit einer der Contactschrauben in Berührung bleibt. Der Strom der Localbatterie geht durch den Electromagneten, es lässt der Ankerhebel einen Stift des Echappementrades entweichen und gleichzeitig drückt das Hämmerchen den Papierstreifen gegen das Typenrad. Da derselbe Buchstabe auf dem Typenrade sich dem Papierstreifen gegenüber gestellt hat, über dem der Zeiger auf dem Zifferblatte arretirt worden ist, so wird auch auf dem Papiere der verlangte Buchstabe erscheinen. Die Abzweigung des Stromes erlaubt auf beiden Stationen die Buchstaben gleichzeitig zu drucken; auf diese Weise ist die Controlle eine doppelte, da sowohl der Zeiger als auch das Typenrad anzeigen, ob die Apparate correct arbeiten. Wichtig ist es besonders, ein sichtbares Zeichen zu haben, dass der Depeschenwechsel richtig von Statten gegangen ist. Dieses ist ein grosser Vortheil, den die Zeigertelegraphen und die Morse'schen Drucktelegraphen nicht haben. Eine Vorrichtung erlaubt den Zeiger auf's Kreuz zu bringen, und zugleich die Communication der Batterie mit der Luftleitung abzubrechen. Ein Knopf, der mit dem Knopfe, dem das Kreuz entspricht, in Verbindung steht, drückt auf einen Hebel, durch den der Strom seinen Weg nehmen muss, um von der Klemme, wo er sich verzweigt, zur Luftleitung zu gelangen. Dieser Hebel, dem Drucke folgend, tritt ein wenig aus seiner gewöhnlichen Lage und unterbricht den Strom der Linienleitung, während die Localleitung geschlossen bleibt.

## Lenoir's autographischer Telegraph.

Der Lenoir'sche autographische Telegraph besteht aus einem Zeichengeber und einem Zeichenempfänger. Die Dimensionen sind im Vergleiche zum Caselli'schen Pantelegraphen nur sehr gering. Der Synchronismus der Uhrwerke des Zeichenempfängers und Zeichengebers wird auf eigenthümliche Weise erlangt. Lenoir benützt nämlich die Electricität als direct wirkenden Regulator des Ganges beider Apparate, er glaubt diese Aufgabe selbst für grössere Linienleitungen glücklich gelöst zu haben.

Beide Apparate bestehen wesentlich aus einer Walze, auf der beim Zeichengeber das Metallpapier befestigt ist. Die mit einer Gummilösung vermischte Dinte wird mit einer Feder auf das Metallpapier aufgetragen; sie ist ein schlechter Leiter. Auf der Empfangsstation wird die Walze mit Farbe leicht bestrichen, dann mit Copirpapier umgeben; bei jedesmaligem Aufdrücken des am Ankerhebel befindlichen Stockes auf das Papier kommen durch Tränkung derselben mit der unterhalb befindlichen Farbe Puncte zum Vorschein. Auf der Absendestation streicht ein metallener Stift die Oberfläche des Metallpapieres, der auf einer Spindel so angebracht ist, dass seine Spitze auf der Walze eine enge Spirallinie beschreibt. Auf der Empfangstation bewegt sich der am Ankerhebel eines Electromagnets befestigte Stift mit dem letzteren auf einer Spindel parallel zum Cylinder fort, dreht sich die Walze, so wird der Stift beim Aufdrücken Puncte geben, die sich in einer engen Spirallinie befinden, gerade wie beim Zeichengeber.

Der Strom geht, so lange auf der Absendestation der Stift auf dem Metallpapiere streift, durch ein Relais und die Luftleitung in den Electromagnet der Empfangstation, der Ankerhebel wird angezogen und der Stift berührt den Cylinder nicht. Streicht jedoch der Stift des Zeichengebers über die Schrift, so ist der Strom unterbrochen, der Electromagnet des Zeichenempfängers wird unmagnetisch, lässt den Ankerhebel mit dem Stifte auf den Cylinder fallen, auf dem Papier erscheint ein Strich, der so lange andauert, bis die Leitung von Neuem geschlossen ist.

Zur Regulirung des Ganges der Uhrwerke hat Lenoir folgende sehr sinnreiche Einrichtung getroffen.

Der Regulator des Zeichengebers trägt auf dem Schwungrädchen sechs sternförmig zusammengesetzte Platten von weichem Eisen, diese

bewegen sich bei Drehung des Rades über den Kernen eines Electromagnets. Durch das Relais auf der Absendestation wird eine Localbatterie geschlossen, deren Strom durch den regulirenden Electromagnet geht; bei jedesmaliger Schliessung der Batterie wird ein Eisenplättchen angezogen.

Nun ist auf der Empfangstation eine Vorrichtung getroffen, die erlaubt, sechsmal während einer Umdrehung des Regulators den Strom der Localbatterie auf der Absendestation zu schliessen und zu unterbrechen. Auf der Achse des Regulators ist nämlich ein Commutator angebracht, der sechsmal Contact macht und sechsmal denselben unterbricht. Ueber demselben streift eine Metallfeder; der von der Absendestation ankommende Strom geht während einer Umdrehung des Regulators sechsmal direct und sechsmal durch die Hülfsbatterie der Empfangstation zur Erde. Lenoir hat auf der Absendestation eine Batterie von 10 Elementen, auf der Empfangstation nur von 5 Elementen.

Nun ist das Relais so beschaffen, dass so lange der Strom von 10 Elementen durch denselben geht, der Ankerhebel nicht angezogen wird, während der Strom von 15 Elementen hinreicht den Widerstand der Spannfeder des Ankers zu überwinden. Communicirt demnach die Linienleitung durch die Hülfsbatterie der Empfangstation mit der Erde, so schliesst das Relais auf der Absendestation die Localbatterie und der Electromagnet zieht die Eisenplättchen an. Geht aber der Strom der 10 Elemente der Absendestation durch den Commutator der Empfangstation direct zur Erde, so wird der Anker des Relais von der Feder abgezogen und der Strom der Localbatterie unterbrochen. Die sechs Contacte, welche für die Linienbatterie 15 Elemente geben, entsprechen den sechs Eisenplättchen der Absendestation. Die Geschwindigkeit, mit der diese Contacte auf einander folgen, hängt von der Geschwindigkeit der Bewegung des Regulators auf der Empfangstation ab. Geht der Regulator auf der Empfangstation vor, so wird der Strom der Localbatterie auf der Absendestation geschlossen, noch ehe ein Eisenplättchen des Regulators des Zeichengebers über dem Electromagnet angekommen ist, das Plättchen wird angezogen und dadurch der Gang des Regulators beschleunigt. Geht der Regulator der Empfangstation nach, so hat auf der Absendestation ein Eisenplättchen den Electromagnet bereits verlassen, wenn der Strom der Localbatterie geschlossen wird, das Plättchen wird wiederum angezogen, aber in diesem Falle die Geschwindig-

keit vermindert. Auf diese Weise ist die Geschwindigkeit des Regulators der Absendestation nach der Geschwindigkeit des Regulators der Empfangstation geregelt.

Sollte es gelingen diese Art der Regulirung der Uhrwerke beider Apparate auf längeren Linienleitungen zu verwirklichen, so würde jedenfalls dem Lenoir'schen Apparat der Vorzug vor dem Caselli'schen Copirtelegraphen zu geben sein. Nächstdem vorzunehmende Versuche auf der Linie von Paris nach Chalons, welche der französische Telegraphen-Director de Vougy Lenoir zur Verfügung gestellt hat, werden zeigen, welchen practischen Nutzen dieser höchst interessante Telegraph abzugeben im Stande ist. An Einfachheit hat er einen grossen Theil der Copirtelegraphen übertroffen.

## Der autographische Telegraph von Charles Cros.

Ein ganz neuer Telegraph ist der Copirtelegraph von Cros. Derselbe wurde vor Kurzem in der Werkstätte des Ingenieurs und Optikers Hardy beendet, so dass er den meisten Fachmännern, welche die Ausstellung besucht, fremd ist.

Der Erfinder ging von der Idee aus, dass durch Arretirung und gleichzeitiges Auslösen der Uhrwerke der Absende- und Empfangstation der Irrthum im Synchronismus beider Telegraphen zu corrigiren wäre, der durch den nicht übereinstimmenden Gang der Apparate entstehen könnte.

Zu dem Zwecke ist eine Scheibe, auf deren Axe ein Metallstift befestigt ist, mit Einschnitten versehen; der Apparat von Cros hat deren sechs. In die Einschnitte der Scheibe greift ein hakenförmig gebogener Hebel ein, der über die Peripherie der Scheibe hinschleift und in einen Einschnitt eintritt, wenn der Anker eines Electromagnets von letzterem angezogen wird. Der hakenförmige Hebel ruht nämlich mit seinem Ende auf dem Ankerhebel, so lange der Electromagnet von keinem Strome durchflossen wird; senkt sich aber der Anker, so wird der Hebel ebenfalls durch eine starke Spannfeder niedergezogen und arretirt die Scheibe, sobald er in einen Einschnitt eintreten kann.

In dem Augenblicke, wo der Hebel sich senkt, löst er ein Uhrwerk aus, welches der Scheibe mit dem auf seiner Axe sitzenden Metallstifte eine rotirende Bewegung mittheilt; tritt er aber in einen Einschnitt ein, so wird diese Bewegung arretirt.

Der von der Absendestation ankommende Strom geht durch ein Relais mit polarisirtem Anker, durch dessen Hebel der Strom der Localbatterie für den Electromagnet des Apparates geschlossen wird. Sobald der Linienstrom unterbrochen wird, zieht ein zwischen den Bobinen des Relais angebrachter permanenter Magnet den Anker von der Contactschraube ab; er versieht so zu sagen die Function einer Abreissfeder. Es ist klar, dass ein solches Relais weit empfindlicher ist als ein gewöhnliches Relais, dasselbe ist natürlich so eingerichtet, dass der durch den Linienstrom im Electromagnet erzeugte Magnetismus den Magnetismus des permanenten Magneten überwältigt, während, sobald eine Stromunterbrechung eintritt, der natürliche Magnet Kraft genug besitzt, um den Anker von der Contactschraube der Localbatterie abzuziehen.

Um in das Relais zu gelangen, muss der Strom durch den hakenförmigen Hebel und die Contactschraube gehen, welche von Letzterer berührt wird, so lange der Ankerhebel vom Electromagneten nicht angezogen ist. Werden nun die Bobinen des Relais magnetisch, so schliesst der Ankerhebel den Strom der Localbatterie, der Electromagnet des Apparates zieht seinen Anker an, der hakenförmige Hebel senkt sich und unterbricht die Communication zwischen dem Linienstrom und dem Relais. In dem Augenblicke aber, wo der Hebel eine zweite, der ersten gegenüberstehende Contactschraube berührt, geht der Linienstrom durch letztere, durch den Metallstift und durch den Cylinder, auf dem das Papier für den Empfang der Depesche aufgeklebt wird, zur Erde. Das Copiren findet also gleichzeitig mit der Bewegung des Metallstiftes statt; hat letztere $^1/_6$ Umdrehung gemacht, so wird bei Unterbrechung des Stromes der Stift arretirt, bis die Localbatterie von Neuem geschlossen und der Anker angezogen wird.

Während der Metallstift auf der Empfangstation bei einer Umdrehung um den Copircylinder sechsmal arretirt und sechsmal gleichzeitig mit dem Stifte des Apparates der Absendestation losgelassen wird, bewegen sich die Cylinder beider Stationen auf Spindeln so fort, dass die Metallstifte sehr enge Spirallinien beschreiben.

Die Regulirung der Bewegung durch mehrmaliges Arretiren der Metallstifte und mehrmaliges gleichzeitiges Loslassen erlaubt den Irrthum im übereinstimmenden Gange der Uhrwerke bis auf ein Minimum zu corrigiren. Was aber an Genauigkeit gewonnen werden

kann, geht an Zeit verloren; wollte man eine noch engere Eintheilung an der Scheibe machen, als in dem Copirtelegraphen von Cros geschehen ist, so würde das Copiren sehr langsam vor sich gehen, was natürlich dem Apparate zum grossen Nachtheile gereichen müsste. Zeitersparniss ist in der Telegraphie ein so wichtiger Punct, dass in neuerer Zeit den Apparaten der Vorzug gegeben worden ist, auf denen die möglichst grosse Zahl von Depeschen pro Stunde versendet werden kann.

---

# Ueber einen selbstthätigen Regulator für den galvanischen Strom.

Von

F. Kohlrausch.

Die Schwankungen, welchen die Wirksamkeit galvanischer Ketten, auch der sogenannten constanten Säulen beständig unterworfen ist, mögen dieselben von einer Aenderung des Widerstandes oder der electromotorischen Kraft herrühren, verlangen, dass man zur Erhaltung eines Stromes von unveränderter Intensität besondere Apparate in den Stromkreis einschaltet, durch welche jene Schwankungen compensirt werden. Diese Instrumente, welche nach Wheatstone Rheostaten genannt werden, bestehen in der Regel aus Widerstandssäulen, welche man nach Bedürfniss vermehren oder vermindern kann. Die Einschaltung eines unnöthigen und oft gar nicht unbeträchtlichen Widerstandes bedingt freilich eine Kraftverschwendung in der Kette, ist aber unvermeidlich, da es selten in unserer Gewalt steht, die Correctionen an der Säule selbst vorzunehmen.

Der wesentliche Uebelstand des Rheostaten liegt jedoch in den meisten Fällen weniger an dieser Verschwendung als an seiner Unbequemlichkeit und der mangelhaften Erfüllung seines Zweckes. Wenn ein Strom merklich constant erhalten werden soll, so ist ununterbrochene Aufmerksamkeit auf das Galvanometer und beständige Handhabung des Rheostaten nothwendig, und trotzdem werden die Schwankungen kurzer Periode auch mit der grössten Sorgfalt nicht zu vermeiden sein. Kurze Zeit nach dem Schlusse der Kette, wo die Aenderungen am bedeutendsten sind, ist eine auch nur annähernde Regulirung unmöglich.

Es ist daher unstreitig wünschenswerth, einen Apparat zu besitzen, welcher ohne äusseres Zuthun die Stromstärke constant erhält. Er

wird in der Praxis mannichfache Verwendung finden können, er wird aber auch für wissenschaftliche Untersuchungen eine grosse Bequemlichkeit gewähren. Die Aufgabe, auf chemischem Wege einen constanten Strom von beliebiger Stärke herzustellen, wird eigentlich erst durch eine solche Zugabe zur galvanischen Kette erfüllbar.

Mit Hülfe eines Rheostaten aus festen Körpern, etwa dünnen Platindrähten, welche in Quecksilber eintauchen, eine selbstthätige Regulirung zu erreichen, ist, wie ich mich durch einen Versuch überzeugt habe, wegen der bedeutenden Reibung unthunlich. Auch abgesehen hiervon würde es schwer seyn, die Grenzen des Widerstandes dem jedesmaligen Bedürfniss anzupassen.

Leicht aber wird die Aufgabe erfüllt, wenn man zur Widerstandssäule eine Flüssigkeit nimmt. Die ersten betreffenden Versuche habe ich schon vor längerer Zeit angestellt, auch eine Notiz über den Gegenstand bereits veröffentlicht[1]). Seitdem bin ich freilich nicht, wie ich beabsichtigte, zu einem Abschluss der Versuche und zur Construction eines mustergültigen Apparates gekommen, welcher für alle Zwecke gleichmässig ausreichte. Allein wenn sich auch leicht übersehen lässt, wie ein solches Instrument beschaffen sein müsste, so wird man die Construction vereinfachen, wenn man dasselbe den besonderen Zwecken anpasst. Ich will deswegen den Apparat, so, wie ich ihn angewandt und brauchbar gefunden habe, kurz beschreiben. Man wird aus den beigegebenen Zahlen finden, in welcher vollkommenen Weise ohne grosse Umstände ein „selbstregulirender Rheostat" hergestellt werden kann[2]).

---

Ein Multiplicator übt auf eine in seinem Mittelpunct befindliche Magnetnadel ein Drehungsmoment aus, welches die letztere senkrecht zur Ebene der Windungen zu stellen strebt. Laufen die Windungen von Ost nach West (senkrecht zu der Stellung, in welcher der Multiplicator als Galvanometer gebraucht werden würde), so kann man den Strom in dem Sinne hindurchgehen lassen, dass er die Nadel mit dem Nordpol nach Süden zu drehen strebt. Wir nehmen die Directionskraft an allen Puncten, welche die Nadel bei ihrer Drehung berührt,

1) Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. 1864 bis 65, S. 75.

2) Hr. Dr. Carl in München hat sich bereit erklärt, den Apparat in seiner physikalischen Werkstätte anfertigen zu lassen.

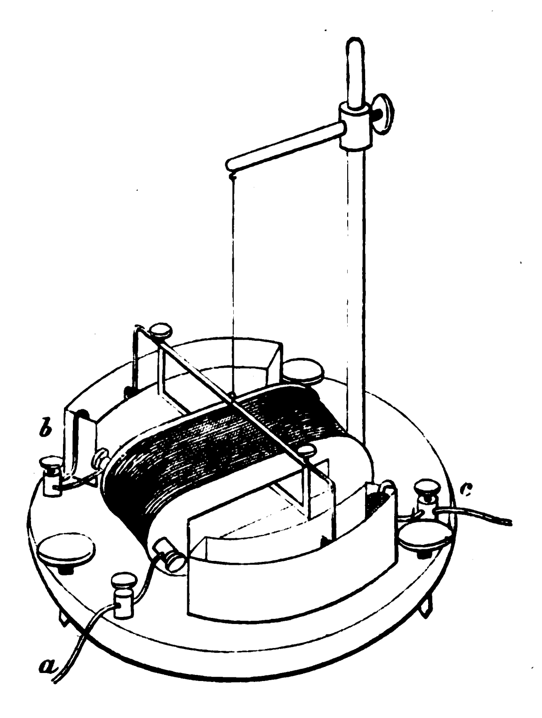
als constant an; oder, was dasselbe sagt, das von dem Strome auf die Nadel ausgeübte Drehungsmoment sei proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels aus der dem Strome entsprechenden Gleichgewichtslage.

Das erdmagnetische Drehungsmoment wirkt im gerade entgegengesetzten Sinne; wir können es verstärken oder abschwächen, indem wir den Nordpol oder Südpol eines Magnets der Nadel von Süden nähern, oder den Magnet über dem Multiplicator in passender Weise anbringen. Immer aber werde die Nadel so klein gegen ihre Entfernung vom Magnetpol vorausgesetzt, dass das Drehungsmoment dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional sei. Man sieht dann leicht, dass die Nadel ein stabiles Gleichgewicht nur in der nordsüdlichen Lage haben kann; mit dem Nordpol nach Süden, wenn die electromagnetische Directionskraft die stärkere ist, im anderen Falle umgekehrt. Sind beide Kräfte gleich, so bleibt die Nadel in jeder Lage im Gleichgewicht.

Dieser letztere Zustand sei für eine bestimmte Stromstärke, eben für diejenige, welche wir constant erhalten wollen, durch die entsprechende Annäherung des Magnets hergestellt. Sobald die Stromstärke um das Mindeste zunimmt oder abnimmt, dreht sich die Nadel im einen oder anderen Sinne. Nun aber werde durch die Bewegung im Sinne des Stromes Widerstand eingeschaltet, durch die entgegengesetzte Widerstand ausgeschaltet, so wird das Gleichgewicht in einer eigenthümlichen Weise stabil: die Nadel stellt sich in eine bestimmte Lage, weil nur in dieser die vorhin bemerkte Stromstärke vorhanden ist. Mit anderen Worten, jede Aenderung in der electromotorischen Kraft oder dem Widerstande des Stromkreises wird durch den Apparat sofort compensirt, so dass beständig die verlangte Stromstärke erhalten bleibt.

Nachstehende Figur stellt die Vorrichtung, so wie ich sie benutzt habe, in ungefähr $^1/_4$ der natürlichen Grösse dar. Ein durchbrochener Multiplicator ist zu vermeiden wegen der Forderung einer in der Nähe des Mittelpunctes constanten Directionskraft. Die (in der Zeichnung unsichtbare) Nadel wurde deswegen in einem um die oberen Windungen herumgeführten Bügel, um hinreichenden Spielraum zu haben, so befestigt, dass sie den Windungen parallel steht, wenn der Bügel senkrecht zu ihnen ist. Diese Stellung soll die mittlere heissen.

Der obere Arm des Bügels dient zugleich zur Leitung des Stromes und trägt an seinen Enden zwei Elektroden, welche in mit Kupfer-




vitriollösung gefüllte Tröge tauchen. Die letzteren haben die Form von Ringausschnitten und sind so aufgestellt, dass die Electroden sich bei der Drehung der Nadel frei bewegen. An den zwei correspondirenden Enden der Tröge befinden sich feste Electroden, selbstverständlich aus Kupfer, wie die beweglichen.

Der Strom, welcher bei *a* hereintritt, geht durch den Multiplicator, von dort zur festen Electrode *b*, durch die Flüssigkeitssäulen und die beweglichen Electroden, und tritt bei *c* aus dem Apparate aus. Das von dem Strome ausgeübte Drehungsmoment sucht die beweglichen Electroden von den festen zu entfernen, vergrössert also, wie verlangt, den Widerstand des Rheostaten.

Ueber die Wirkungsweise ist kaum noch etwas hinzuzufügen und ebensowenig wird es nöthig sein, die Versuche, bei denen eine und dieselbe Kette mit oder ohne Regulator längere Zeit geschlossen blieb, ausführlich neben einanderzustellen. Die Stromstärke, welche im letzteren Falle in 10 Minuten um etwa 10 Procent abnahm, schwankte mit dem Regulator nur innerhalb der Grösse der Beobachtungsfehler und stellte sich auch nach einer Unterbrechung sofort wieder mit Genauigkeit her. Innerhalb 24 Stunden war die grösste beobachtete

Stromstärke 42,2 die niedrigste 41,7 in Scalentheilen, und die Variationen der erdmagnetischen Declination prägten sich am Galvanometer trotz des durchgehenden Stromes mit der grössten Genauigkeit aus. Die Schwankungen in der Beschaffenheit der Säule wurden, anstatt durch das Galvanometer, durch die Nadel im Rheostaten und die beweglichen Electroden angezeigt.

Noch schlagender sind die Versuche, wenn man absichtlich, durch plötzliches Aus- und Einschalten grösserer Widerstände oder auch durch Hinzufügen oder Wegnehmen eines Elementes aus der Säule die Stromstärke zu ändern sucht. Momentan erreicht man diesen Zweck natürlich, aber sofort sieht man, wie die beweglichen Electroden ihre Stellung ändern, bis die frühere Stromstärke wieder hergestellt ist.

Ich konnte beispielsweise in den Schliessungskreis 4 Widerstandsrollen einzeln oder zusammen einschalten, welche ich mit $w_1$, $w_2$, $w_3$ und $w_4$ bezeichnen will. $w_1$ und $w_2$, sowie $w_3$ und $w_4$ waren je einander gleich; $w_1$ verhielt sich zu $w_3$ wie 3 : 2. Zusammen betrugen sie etwa die Hälfte des übrigen Widerstandes, wobei für den Regulator angenommen wird, Nadel und Electroden seien in der mittleren Lage. Die erste Reihe der folgenden Tafel sagt, welche von diesen Widerständen eingeschaltet waren; die zweite giebt die zugehörigen Stromstärken, wenn der Regulator ausser Thätigkeit gesetzt, d. h. etwa in der mittleren Stellung festgehalten wurde. Die dritte giebt die beobachtete Stromstärke mit Regulator, die vierte enthält den jedesmaligen Abstand der festen von den beweglichen Electroden in Millimetern. Der Winkel der Nadel mit der mittleren Lage ist in der fünften Columne enthalten, mit positivem Vorzeichen, wenn der Abstand der Electroden durch den Ausschlag vergrössert war.

| Eingeschalter Widerstand | Stromstärke ohne Regulator | Stromstärke mit Regulator | Abstand der Electroden | Ausschlag der Nadel |
|---|---|---|---|---|
| $0$ | 108 | 82,9 | 110$^{mm}$ | $+ 15^0$ |
| $w_1$ | 95 | 82,4 | 93 | $+ 8$ |
| $w_1 + w_2$ | 83 | 81,7 | 75 | $+ 1$ |
| $w_1 + w_2 + w_3$ | 77 | 81,7 | 65 | $- 3$ |
| $w_1 + w_2 + w_3 + w_4$ | 72 | 82,7 | 53 | $+ 8$ |
| 6 Stunden später: | | | | |
| $w_1 + w_2 + w_3 + w_4$ | 83 | 81,8 | 72$^{mm}$ | $+ 1$ |
| $0$ | 125 | 83,3 | 125 | $+ 22$ |

Als Galvanometer diente ein kleiner mit einem Dämpfer umgebener magnetisirter Stahlspiegel, welchem ein Multiplicator genähert war, im Wesentlichen nach der Wiedemann'schen Einrichtung. Die Stromstärke ist einfach nach Scalentheilen angegeben. — Durch die Einschaltung der Widerstandsrollen würde der Strom im Verhältniss von 3 zu 2 abgenommen haben. Der Regulator schaltete von selbst einen gleichen Widerstand aus und erhielt dadurch die Stromstärke constant. Dasselbe Resultat ergab sich, wenn der galvanischen Kette ein Element weggenommen oder hinzugefügt wurde.

Die Schwankungen, welche sich noch zeigen, belaufen sich auf etwa 2 Procent, wenn die letzten beiden Versuche zugezogen werden. Woher dieselben rühren, sieht man aus der letzten Reihe: die Bedingung, dass das Drehungsmoment in allen Stellungen der Nadel dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional sei, war weder für die vom Multiplicator noch für die von dem Magnet ausgeübte Directionskraft streng erfüllt. Man konnte, wie für ein Galvanometer, in welchem die Tangente des Ausschlagswinkels der Stromstärke proportional sein soll, entweder einen weiten, kreisförmigen, oder einen flachen, eng umschliessenden Multiplicator nehmen. Im ersteren Falle würden, um die auf die Nadel wirkenden Kräfte ausreichend zu verstärken, sehr viele Windungen nothwendig gewesen sein; um daher diesen grossen unwesentlichen Leitungswiderstand zu vermeiden, ist der breite und flache Multiplicator unbedingt vorzuziehen. — Die Nadel muss einerseits erheblich kürzer sein als die Breite des Multiplicators beträgt, andererseits wird ein starker Magnet verlangt, um die mechanischen Widerstände der Bewegung zu überwinden. Deswegen wurde ein cylindrischer Stahlstab von 1 Centim. Durchmesser und 3 Centim. Länge gewählt, welcher bis zum Maximum magnetisirt worden war.

Es wäre leicht gewesen, zu dieser Nadel einen flachen Multiplicator so herzustellen, dass bis zu einem Ausschlagswinkel von 20 oder 30° die obige Bedingung von der Constanz der Directionskraft hinreichend genau erfüllt worden wäre. Der benutzte, bereits vorhandene Multiplicator hatte aber eine Breite von nur 7 Centim., während die Höhe der innersten Windungen unnöthiger Weise fast 3 Centim., betrug. Hieraus musste eine Abweichung entspringen, welche die vom Strome ausgeübte Directionskraft mit grösseren Ausschlägen der Nadel kleiner werden liess. Die Wirkung des Magnetpoles dagegen, welcher in etwa 10 Centim. Abstand von der Nadel nördlich aufgestellt war,

musste mit diesen Ausschlägen grösser werden. Um Gleichgewicht herzustellen, musste daher die Stromstärke mit dem Ausschlage der Nadel wachsen.

Hiermit stimmen die kleinen beobachteten Ungleichheiten auf's Genaueste überein, wie man aus obigen Zahlen sieht; in der Mittellage der Nadel ist die Stromstärke am kleinsten und wächst nach beiden Seiten symmetrisch mit dem Ausschlage. Bei der fünften Zahl tritt demnach der eigenthümliche Fall ein, dass durch die Einschaltung von Widerstand die Stromintensität indirect gesteigert wird.

Diese kleinen Ungleichheiten sind zu vermeiden, wenn man einen noch flacheren und breiteren Multiplicator anwendet. Es liegt auf der Hand, dass man noch weiter gehen und, wie bei der Tangentenbussole geschehen ist, die Nadel in einem durch die Dimensionen des Multiplicators gegebenen Abstand excentrisch aufhängen kann, wodurch die Abweichung erster Ordnung aufgehoben wird. Oder man wickelt den Draht nicht in überall gleicher Dicke auf, sondern fügt an den Enden eine dickere Schicht hinzu; auch hierdurch ist die Abweichung erster Ordnung zu eliminiren.

Es würde zu weit führen, die verschiedenen Möglichkeiten hier auseinanderzusetzen: sie fallen mit den Vorschriften für die Construction eines Galvanometers, bei welchem die Stromstärke der Tangente des Ausschlags proportional ist, zusammen.

Die durch die Nähe des Magnetpoles verursachte Störung wird verringert, wenn man einen stärkeren Magnet in grösserer Entfernung anbringt. Auch durch die Combination von zwei Magneten, von denen der eine im Norden, der andere im Osten von der Nadel auf bekannte Weise so aufgestellt wird, dass die auf die Nadel ausgeübten Directionskräfte sich addiren, lässt sich bewirken, dass die Abweichungen, welche nun ein ungleiches Vorzeichen haben, sich compensiren.

Indessen muss man hier im Auge behalten, dass in den obigen Versuchen absichtlich, zur Prüfung des Apparates, Widerstände bis zur Hälfte der vorhandenen eingeschaltet wurden; der Zweck des Apparates aber besteht darin, dass er die von zufälligen Schwankungen, z. B. der Temperatur, oder von den Aenderungen in der Säule herrührenden Unterschiede ausgleicht. Diese Aenderungen aber gehen langsam vor sich und bei passender Anordnung wird man bewirken können, dass durch sie keine erhebliche Verschiebung der beweglichen Electroden in der Zeit von mehreren Stunden bewirkt wird. Man

kann also auch ohne die Beobachtung der oben angegebenen feineren Regeln, etwa mit einem aus freier Hand und mit unvollkommenen Mitteln zusammengestellten Regulator wie dem unsrigen, beliebig lange einen für die schärfsten Beobachtungen constanten Strom erhalten, wenn man nur nach je einigen Stunden die beweglichen Electroden, falls es nöthig sein sollte, mit einem gewöhnlichen Rheostaten wieder in die Mittellage zurückführt.

Für viele, z. B. alle technischen Zwecke kommen übrigens Schwankungen von 2 Procent, die an gewöhnlichen Galvanometern kaum zu beobachten sind, gar nicht in Betracht. Und gegen grössere garantirt der Apparat, wie man Seite 425 gesehen hat, für den Zeitraum von Tagen.

---

Ich füge noch einige Bemerkungen über einzelne Theile des Regulators bei.

Theoretisch kann man mit einem und demselben Multiplicator auf jede Stromstärke reguliren, indem man die erdmagnetische Kraft beliebig verstärkt und abschwächt. Praktisch sind hier jedoch Grenzen gesetzt: einerseits für das Minimum der Directionskräfte durch die Schwingungsdauer und die Reibung der Electroden in den Flüssigkeiten; umgekehrt stellen die Mittel zur Hervorbringung starker rein magnetischer Kräfte auch das Maximum fest. Für einen ausgedehnten Gebrauch eines und desselben Instrumentes ist es daher nothwendig, dass der Multiplicator aus mehreren Lagen Draht bestehe, welche man beliebig neben und hinter einander verbinden kann. Dass um des Widerstandes willen der Draht nicht zu schwach sein darf, versteht sich von selbst. Indessen wird man hierbei von allgemeinen Regeln absehen und sich je nach den Zwecken im einzelnen Falle einen Ueberblick vorher zu verschaffen suchen.

Die Nadel muss, wie schon bemerkt, möglichst kräftig sein, um die Reibungswiderstände zu überwinden, auch die Torsion des Fadens unschädlich zu machen. Im Uebrigen ist die Regulation vom Nadelmagnetismus unabhängig. Ob z. B. durch den Multiplicator Magnetismus inducirt wird, ob die Temperatur ihn ändert, ist, wie man leicht sieht, für die Stromstärke ganz gleichgültig. Das Aufhängen der Nadel an einem Faden ist für eine sehr genaue Wirkung durchaus geboten; mit geringeren Ansprüchen würde man sie auf eine Spitze setzen und den Apparat allerdings wesentlich vereinfachen können.

Die Flüssigkeitströge waren glacirte Porcellangefässe in der Form von Ringausschnitten mit einem mittleren Radius von 10 Centim. Die Breite betrug $3^1/_2$, die Höhe 5, Länge 13 Centim. Die Grössen waren willkürlich angenommen, erwiesen sich aber als passend. Sie können je nach Bedarf modificirt werden. Ich war zufällig in die Lage gesetzt, die Porcellangefässe anfertigen zu lassen. Im Allgemeinen werden Glaströge nach Maass leichter zu erhalten sein. Eventuell werden auch irdene oder aus Guttapercha geformte Tröge ausreichen.

Die Dimensionen des Troges bestimmen ungefähr die Grösse der Electroden und deren Abstand vom Mittelpunct der Nadel. Da eben an den Electroden die mechanischen Widerstandskräfte wirken, so darf der Radius nicht zu gross gewonnen werden, und auch die Fläche der Electrode ist begrenzt, insofern der Widerstand der Flüssigkeit gegen die Bewegung mit ihr wächst.

Durchaus erforderlich ist, dass die beweglichen Electroden ganz unter die Oberfläche tauchen, weil sonst durch die Capillaritätskräfte die Beweglichkeit ungemein erschwert und auch auf die Gleichgewichtslage ein Einfluss ausgeübt wird. Durch die Oberfläche der Flüssigkeit darf nur ein Zuleitungsdraht gehen, welchen man, um ihn von Einflüssen des Stromes frei zu erhalten, gefirnisst hat. Er ist an die hintere Seite der beweglichen Electrode angelöthet und so gebogen, dass er, auch wenn die Electroden sich berühren (was bei jeder Unterbrechung des Stromes eintritt), mindestens 1 Centimeter entfernt von der festen Electrode bleibt. Der Zweck dieser Einrichtung ist lediglich das Vermeiden von Capillarkräften, welche nach stattgefundener Berührung eine gewaltsame Trennung nöthig machen.

Ferner muss auf eine vollständige Reinheit der Oberfläche gesehen werden. Der von mir angewandte Kupfervitriol mag ein wenig Eisenvitriol enthalten haben, welcher nach dem Verlauf eines Tages die Oberfläche verunreinigt hatte. Vielleicht war auch das Kupfer der Electroden nicht rein. Genug, wenn diese Trübungen sich in Form eines sehr feinen Häutchens auf der Oberfläche gezeigt hatten, machten sie sich durch einen Widerstand bemerklich, welcher die Bewegungen der Electroden merklich hemmte und daher auch die Stromstärke ändern konnte.

Kupfer in Kupfervitriollösung empfiehlt sich wegen der Vermeidung der Polarisation. Freilich wird durch den Strom die eine der beweglichen Electroden allmählich aufgelöst, die andere durch niedergeschlagenes

Kupfer vergrössert, und mit der Zeit das Gleichgewicht gestört. Durch die Anwendung anderer Metalle und Lösungen, welche keine Polarisation geben, lässt sich hieran wenig ändern, weil die in Frage kommenden ein ungefähr gleiches Aequivalentgewicht haben. Es ist dies aber auch kaum ein Uebelstand zu nennen, denn man braucht nur von Zeit zu Zeit den Strom in den Flüssigkeitssäulen umzukehren während man ihn im Multiplicator unverändert lässt. An einem definitiv eingerichteten Regulator wäre jedenfalls gleich ein Commutator zu diesem Zwecke anzubringen.

Uebrigens wird auch die Polarisation mit Wasserstoff und Sauerstoff an Platinelectroden, wenn man Schwefelsäure anwenden will, keinen weiteren Uebelstand mit sich bringen, als dass eine electromotorische Kraft gleich ungefähr 2 Bunsen'schen Elementen dadurch aufgehoben wird. Für stärkere Ströme wird man sich diese Kraftverschwendung gefallen lassen müssen.

Die Befestigung der Electroden am Bügel geschieht durch kleine Klemmschrauben.

Die Concentration der Flüssigkeiten wird man ganz nach dem Bedürfniss einrichten. Der Widerstand, welcher im Rheostaten zur Verfügung sein muss, steht im Allgemeinen im Verhältniss mit dem in der Kette bereits vorhandenen. Die beschriebenen Tröge, mit concentrirter Kupfervitriollösung gefüllt, repräsentiren zusammen etwa den Widerstand eines $0{,}3^{mm}$ dicken Platindrahtes[1]) von 30 Meter Länge; auf drei Procent verdünnt, eines gleichen Drahtes von etwa 120 Meter. Schwefelsäure vom Maximum ihres Leitungsvermögens bis zum destillirten Wasser gäbe Widerstände von 1,2 Meter des obigen Drahtes bis zu beliebigen Grenzen hinauf. Innerhalb der letzteren Grenzen werden die für die einen beliebigen Zweck erforderlichen Widerstände des Rheostaten liegen, selbst wohl diejenigen der praktischen Telegraphie zum grösseren Theile inbegriffen.

---

Die Herstellung eines electromagnetischen Stromregulators ist offenbar noch einiger Modificationen fähig, so, wie man auch in der Construction galvanometrischer Apparate einen gewissen Spielraum hat. In einem oder dem anderen Puncte würde eine etwas veränderte Einrichtung sogar Vortheile ergeben können.

1) Ich wähle diese Drahtsorte zum Vergleiche, weil ich sie an einem von Sauerwald gefertigten Poggendorff'schen Rheochord gefunden habe.



Der im Vorigen beschriebene Regulator ist vom Nadelmagnetismus unabhängig, setzt dagegen die horizontale Intensität des Erdmagnetismus und den Magnetismus des genäherten Stabes als constant voraus. Es liegt nun auf der Hand, dass man anstatt der magnetischen auch die statische Directionskraft der bifilaren Aufhängung wählen könnte. Entweder benutzt man die letztere nur so weit, dass man die erdmagnetische Directionskraft durch sie zu der erforderlichen Stärke ergänzt: anstatt also einen Magnet zu nähern, würde man den Abstand der Fäden in erforderlicher Weise regeln. Oder aber, man eliminirt den Erdmagnetismus ganz, indem man ein astatisches Nadelpaar, wie bei dem Nobilischen Multiplicator, anwendet, nur mit dem Unterschiede, dass dasselbe bifilar aufgehängt wird. Da man vom Erdmagnetismus unabhängig ist, so kann man dem Multiplicator auch ein beliebiges Azimuth geben. Der Nadelmagnetismus wird hier natürlich als constant vorausgesetzt.

Man sieht leicht, auf welche einfache und elegante Weise dieser Regulator auf jede verlangte Stromstärke eingestellt werden würde, denn, wenn man den unteren Abstand der Fäden unverändert lässt, so wird die Stromstärke einfach dem oberen Abstande proportional sein.

Ferner kann man, anstatt die beweglichen Electroden mit einer Magnetnadel zu verbinden, den Multiplicator selbst drehbar aufhängen und seine Enden unmittelbar mit den Electroden in Verbindung setzen. Das magnetische Drehungsmoment, welches alsdann von dem auf irgend eine Weise verstärkten Erdmagnetismus auf den Strom im Multiplicator ausgeübt wird, muss durch eine constante Directionskraft bei der verlangten Stromintensität gerade aufgehoben werden, während eine Veränderung der letzteren sofort eine Drehung hervorbringt und den Rheostaten in Thätigkeit setzt. Die constante Kraft ist, wie man leicht sieht, erstens durch einen an dem Multiplicator befestigten, also mit ihm drehbaren Magnet zu erreichen, dessen magnetisches Moment demjenigen des Multiplicators bei der bestimmten Stromstärke gleich, dessen Axe aber entgegengesetzt gerichtet ist. Zweitens kann man, wie oben, die bifilare Aufhängung anwenden und sich dadurch, wenn man will, von allen rein magnetischen Kräften, auch dem Erdmagnetismus unabhängig machen.

Doch es hat keinen Zweck auf diese Abänderungen näher einzugehen, da der in diesem Aufsatz ausführlicher beschriebene Regulator als der einfachste doch wohl den Vorzug verdient.

---

# Ueber Berechnung optischer Constructionen.

Von

Dr. Adolph Steinheil.

Nachdem der berühmte Frauenhofer durch Entdeckung und Anwendung der fixen Linien im Sonnenspectrum gezeigt hatte, wie sich die Eigenschaften der Glassorten präcis durch Zahlen ausdrücken lassen und dadurch die strenge Rechnung in der Optik möglich gemacht hatte, verwendete er diese in der Art für optische Constructionen, dass er die Lichtstrahlen durch strenge trigonometrische Rechnung auf ihrem Wege durch ein Linsensystem verfolgte, den Einfluss der Halbmesser und Dicken auf die Vereinigungsweiten verschiedener Strahlen bestimmte und diese Kenntniss zur Feststellung derjenigen Dimensionen benutzte, welche für gegebene Glasarten ein möglichst deutliches Bild eines in der Axe gelegenen leuchtenden Punctes ergeben.

Seine Untersuchungen bezogen sich zunächst auf das Fernrohrobjectiv, welches er in zwei Constructionen ausführte, sowie auf das einfache Mikroscopobjectiv. Bei letzterem und dem für kleinere Dimensionen angewendeten Fernrohrobjective (mit ineinanderpassenden inneren Flächen) waren es 3 Bedingungen, die er erfüllte; nämlich: Herstellung einer vorher bestimmten Brennweite bei gleichzeitiger Hebung des Kugelgestalt- und Farben-Fehlers.

Bei dem Fernrohrobjective für grössere Dimensionen kam noch eine weitere Bedingung und die Wahl der Glassorten in Bezug auf secundäres Spectrum dazu. Welches die vierte Bedingung war, die Frauenhofer zur Annahme dieser (unter dem Namen Frauenhofer'sche Construction so berühmt gewordenen) Form des Objectives bestimmte, konnte, trotz der gediegenen Untersuchungen in dieser Richtung, leider nicht mit Sicherheit[1]) festgestellt werden, da seine hinterlas-

1) Ein Ausspruch Utzschneider's, dass Frauenhofer die Fehler über das ganze Gesichtsfeld möglichst zu heben bestrebt gewesen sei, lässt die sub 3)



senen Arbeiten, soweit sie nicht vor seinem Tode publicirt waren, als Geheimniss behandelt wurden und anderweitige directe Angaben von ihm fehlten. Vielleicht aber sind gerade durch diesen Umstand die Eigenschaften des Objectives genauer untersucht und besser bekannt geworden.

Das Objectiv erfüllt:

1) Wie Herschel[1]) nachwies, sehr nahe die Bedingung der Hebung des Kugelgestaltfehlers für nahe und ferne Objecte.

2) Wie Biot[2]) zeigte, ist es stabil achromatisch; d. h. Strahlen von zweierlei Farben, welche vor der Brechung an der ersten Fläche des Objectives demselben weissen Strahl angehörten, treten nach der letzten Brechung nicht nur nach demselben Puncte zielend, sondern auch unter demselben Winkel und an derselben Stelle aus (wieder einen weissen Strahl bildend). Diese Bedingung ist für einen Punct der Oeffnung streng erfüllt und bedingt zugleich die Hebung des Farbenfehlers ausser der Axe.

3) zeigte Prof. Dr. Seidel[3]) dahier, dass bei dem Frauenhofer'schen Objective die Bedingung der gleichzeitigen Hebung der Kugelgestalt in der Mitte und am Rande des Gesichtsfeldes sehr nahe erfüllt ist.

4) fand Herr Prof. Seidel (und theilte es mir mit der Erlaubniss zur Veröffentlichung in dieser Abhandlung mit) dass das Frauenhofer'sche Objectiv, so definirt, wie er es in den astronomischen Nachrichten Nr. 1029 angenommen hat, vor allen anderen die Auszeichnung geniesst, dass es keine Brennflächen erzeugt, so dass die kleinen Lichtscheibchen, welche man je nach der Stellung des Oculares sieht, gleichmässig erleuchtet erscheinen, während sie bei jedem andern Objective (auch abgesehen von dem Effecte der Diffraction) helle Lichtsäume (die Durchschnitte der Brennfläche mit der jedesmaligen Ebene des deutlichen Sehens) haben; und endlich

5) ergab mir die trigonometrische Rechnung, dass für den Licht-

---

angeführte, von Prof. Seidel gefundene Eigenschaft, mit am meisten Wahrscheinlichkeit als die Bedingung erscheinen, welche Frauenhofer erfüllte.

1) Herschel, Dioptrik.

2) Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B. Biot, Paris 1844. Tome deuxième p. 82.

3) Gelehrte Anzeigen der k. bayer. Academie der Wissenschaften 1855 Nr. 16 und 17. Astronomische Nachrichten Nr. 1027—1029.



büschel parallel zur Axe der Kugelgestaltfehler (secundärer Ordnung) für Strahlen, die bei $^2/_3$ der Oeffnung des Objectives auffallen, bei dieser Construction ein Minimum ist; wenn man Dicken und Abstand der Linsen als Elemente ausschliesst.

Diese grossen Vortheile erreichte Frauenhofer, ohne dass er mehr als 2 Linsen anwendete. Dadurch war dieses Objectiv ein Triumph der Wissenschaft, indem es bewies, dass diese eine zuverlässigere Führerin ist, um unter vielen Möglichkeiten die günstigste zu wählen, als die Empirie.

Bei den von Frauenhofer gerechneten Fällen handelte es sich um Instrumente, welche einen geringen Oeffnungswinkel (Verhältniss der wirksamen Oeffnung zur Brennweite) hatten und bei welchen nur ein kleiner Gesichtsfeldwinkel (Verhältniss der benützten Ausdehnung des Bildes zur Brennweite) zur Anwendung kam.

Leider ward Frauenhofer durch seinen frühen Tod verhindert eine beabsichtigte gründliche Bearbeitung der Oculare durchzuführen; durch welche die Bedingungen für ein grosses Gesichtsfeld festgestellt und erfüllt werden sollten.

Trotz der grossen Fortschritte, welche die Theorie der Optik seit Frauenhofer's Tod durch die Arbeiten von Gauss, Bessel, Biot, Petzwal, Seidel etc. gemacht hat, wurde sie doch in Bezug auf Constructionen von der Empirie überholt.

Es wurden zusammengesetzte Mikroscopobjective mit sehr grossen Oeffnungswinkeln und Photographenapparate mit ausgedehntem Gesichtsfelde construirt. Mikroscopobjective sowohl, wie Photographenapparate wurden in den verschiedensten Constructionen hergestellt, ohne dass behauptet werden kann, dass die einfachsten und günstigsten Möglichkeiten dadurch ermittelt worden wären. Es hat eben Frauenhofer keinen Nachfolger gefunden, der die Lust und Ausdauer besass, auf dem sicheren aber mühsamen Wege der trigonometrischen Rechnung, die Eigenschaften der Bilder genau kennen zu lernen und auf diese Kenntniss gestützt unter den Möglichkeiten zu wählen.

Dass die Theorie nicht directe Vorschriften zur Berechnung von Constructionen geben kann, liegt in der Natur der Aufgabe. Während schon alle Gleichungen, die den 4. Grad übersteigen, directe Lösung ausschliessen, ist die Zahl der variabeln Elemente und der zu erfüllenden Bedingungen so gross, dass eine Orientirung sehr schwierig wird; zumal wenn man bedenkt, dass die Werthe der variabeln Ele-

mente[1]) innerhalb vorgeschriebener Grenzen gehalten werden müssen und dass die zu erfüllenden Bedingungen Fehlergrenzen[2]) gestatten, die sich nur für den speciellen Fall bestimmen lassen.

Bei Berechnung optischer Systeme, die grossen Oeffnungswinkel besitzen, ist es nicht genügend, die parallel zur Axe auf ein System fallenden Strahlen streng in einen Punct zu vereinigen, selbst wenn ein nur sehr kleiner Gesichtsfeldwinkel benützt wird, wie z. B. bei den Mikroscopen; denn es kann der Fall vorkommen, dass das Bild eines ausser der Axe gelegenen Punctes einen so grossen Durchmesser erhält, dass es den Bildpunct in der Axe deckt und dadurch undeutlich macht; es darf also in solchen Fällen nicht ohne Rücksicht auf einen zweiten Bildpunct vorgegangen werden; in Fällen, die grosses Gesichtsfeld verlangen, natürlich noch viel weniger.

Aus Obigem folgt nun, dass, um sichere Resultate zu erzielen, die trigonometrische Rechnung auch auf einen zweiten Bildpunct ausgedehnt werden muss; und es sollen nachfolgend die Bedingungen zusammengestellt werden, welche an die beiden Bildpuncte zu stellen sind.

Der Bildpunct in der Axe, von einem parallel zu dieser auf das System fallenden Lichtbüschel gebildet, bedingt zunächst die Brennweite des Systemes. Ein, in diesem Lichtbüschel liegender, ganz nahe der Axe einfallender Strahl ergibt den Brennpunct als Ende und den Hauptpunct als Anfang der Brennweite; ersteren durch seinen Durchschnitt mit der Axe, letzteren durch eine sehr einfache Construction. Verlängert man nämlich den einfallenden Strahl vor der Brechung an der ersten Fläche in der Richtung seiner Bewegung und denselben austretenden Strahl nach der letzten Brechung gegen die Richtung seiner Bewegung, bis sich beide schneiden, so ergibt ein Perpendikel von diesem Punkte auf die Axe den Hauptpunct[3]) (oder wahren An-

1) Die Brechungs- und Zerstreuungscoefficienten müssen sich innerhalb der Grenzen halten, welche durch die Anforderungen der Dauerhaftigkeit und Farblosigkeit der Gläser gesetzt sind. Die Längen der Halbmesser sind durch die nöthigen Oeffnungsmaasse beschränkt; die Dicken einerseits durch diese, andererseits durch den Kostenpunkt, das Gewicht, die Lichtabsorption etc.

2) Es ist die Empfindlichkeit des Auges (oder besser dessen Unempfindlichkeit gegen kleine Winkelfehler), welche diese Grenze bildet, je nachdem das Auge ein Bild direct oder durch eine Loupe bewaffnet, betrachtet; es ist der absolute Maasstab der Instrumente, der ihre grössten Fehler über oder unter die Empfindlichkeitsgrenze des Auges bringt.

3) Wie Gauss in seinen „dioptrischen Untersuchungen" nachgewiesen hat,



fangspunct der Brennweite). Hat mit diesem Strahle ein gleichfarbiger in grösserem Abstande von der Axe einfallender denselben Brennpunct, so ist der Kugelgestaltfehler gehoben und es ist dies mit dem Farbenfehler der Fall, wenn dieser nämliche Brennpunct, auch einem Strahle von anderer Brechbarkeit zukömmt.

Das Bild eines Punctes ausser der Axe muss untersucht werden:

1) In Bezug auf seinen Abstand von der Axe,
2) in Bezug auf seine Form,
3) in Bezug auf seinen Abstand vom Hauptpuncte (oder Knotenpuncte).

Die Bedingungen bezüglich des Abstandes des Bildpunctes von der Axe ergeben sich aus den Eigenschaften der Hauptstrahlen.

Ein Hauptstrahl ist jeder Strahl, der vor dem Eintritt in ein Linsensystem denselben Winkel mit dessen Axe bildet, wie nach seinem Austritte aus demselben. Ist bei einem Systeme das erste und letzte brechende Medium das gleiche, so werden die beiden Puncte, auf welche ein nur sehr wenig gegen die Axe geneigter Hauptstrahl vor der ersten und nach der letzten Brechung zielt, mit denjenigen zusammenfallen, welche die Anfangspuncte der beiden Brennweiten bilden; dies ist die zweite Bedeutung der Gauss'schen Hauptpuncte, dass sie die virtuellen Kreuzungspuncte eines Hauptstrahls mit der Axe sind.

Ist jedoch der Brechungscoefficient des ersten und letzten Mediums verschieden, so heissen die Anfangspuncte der Brennweiten die Hauptpuncte; die virtuellen Kreuzungspuncte eines Hauptstrahls die Knotenpuncte; und fallen nicht zusammen.

Die Verzerrung ist nun bei einem optischen Systeme gehoben, wenn bei einem Hauptstrahl, der einen grossen Winkel gegen die Axe bildet, die virtuellen Kreuzungspuncte mit der Axe mit den Hauptpuncten (oder Knotenpuncten) zusammenfallen. Die beiden Haupt- oder Knotenpuncte haben in einem solchen Systeme die Eigenschaft, dass vom ersten aus die Objecte unter denselben Winkeln erscheinen, wie vom zweiten aus deren Bilder.

Haben zwei Hauptstrahlen von verschiedener Brechbarkeit, welche

---

besitzt jedes optische System 2 Haupt- und 2 Brennpuncte, je nachdem der zur Axe parallele Lichtbüschel von der einen oder von der andern Seite auf das System fällt. Für die Bildpuncte in der Axe haben die Hauptpuncte die Bedeutung der Anfangspuncte der Brennweiten, während die Brennpuncte deren Enden bezeichnen.



denselben Winkel gegen die Axe bilden, gemeinsame Haupt- oder Knotenpuncte, so sind die Farben ausser der Axe gehoben; und werden hierdurch, wenn gleichzeitig der Farbenfehler für den Brennpunkt in der Axe gehoben ist, die verschieden farbigen Bilder gleich gross sein und an derselben Stelle liegen, also sich decken.

Um die Form des Bildes eines Punctes zu bestimmen, ist es nöthig, in dem Lichtbüschel, der den Bildpunct ausser der Axe bildet, ausser dem Hauptstrahle noch 3 weitere Strahlen auf ihrem Wege durch das optische System zu verfolgen und ihren Durchschnitt mit einer zum Hauptstrahl senkrechten Ebene in dem Puncte zu bestimmen, in welchem sie sich einander möglichst nahe gekommen sind, d. h. im Bildpuncte.

Von diesen 3 Strahlen, welche in gleichem Abstande vom Hauptstrahl anzunehmen sind, liegen zwei in einer Ebene, die sich durch die optische Axe des Systemes und den Hauptstrahl legen lässt. Die Ebene, in welcher der dritte liegt, enthält ebenfalls den Hauptstrahl und steht senkrecht zur vorher angenommenen. In dieser Ebene genügt ein Strahl, da der gegenüber vom Hauptstrahl liegende mit ihm symmetrisch geht.

Liegen im Bildpuncte diese 3 Strahlen symmetrisch gegen den Hauptstrahl, so ist kein Astigmatismus vorhanden. Als Bildpunct ist stets der engste Querschnitt des Lichtbüschels anzunehmen; und es bedingt der Abstand dieses Bildpunctes vom Haupt- oder Knotenpunct die Form der Bildfläche. Ist dieser Abstand dem entsprechenden des Axenbildpunctes gleich, so liegt das Bild auf einem Kugelsegmente, das aus dem Hauptpuncte mit der Brennweite als Radius beschrieben werden kann; und das Bild ist ein ebenes, wenn die Distanzen vom Hauptpuncte im Verhältnisse zur Secante des Winkels wachsen, den der entsprechende Hauptstrahl mit der Achse bildet.

Der Kugelgestaltfehler ausser der Axe kann als gehoben betrachtet werden, wenn der Bilddurchmesser vom Hauptpuncte aus unter keinem grösseren Winkel erscheint, als derjenige ist, welcher beim Axenbildpuncte unvermeidlich bleibt.

Die Bestimmung der 3 letzten Elemente: Astigmatismus, Kugelgestaltfehler ausser der Axe und Form der Bildfläche, wurde mir erst durch die von Herrn Prof. Seidel entwickelten:

„Trigonometrischen Formeln für den allgemeinsten Fall der Brechung des Lichtes an centrirten sphärischen Flächen“ möglich.

Bei Berechnung einer optischen Construction müssen somit folgende Puncte berücksichtigt werden:

Bei dem Bildpuncte in der Axe:

1) Brennweite.
2) Hebung des Kugelgestaltfehlers.
3) Hebung des Farbenfehlers.

Bei dem Bildpuncte ausser der Axe:

4) Hebung der Verzerrung.
5) Hebung der Farben ausser der Axe.
6) Bestimmung der Form der Bildfläche.
7) Hebung des Astigmatismus.
8) Hebung des Kugelgestaltfehlers ausser der Axe.

Für Fälle, in denen ein sehr grosser Oeffnungswinkel verlangt wird, müssen den 3 Bedingungen für den Lichtbüschel in der Axe noch 2 weitere beigefügt werden; es ist nämlich nöthig, den Farbenfehler und den Kugelgestaltfehler noch für einen weiteren Punct der Oeffnung zu heben.

Die Hauptschwierigkeiten bei der Berechnung optischer Constructionen liegen darin, die richtige Reihenfolge zu finden, in welcher die Bedingungen erfüllt werden müssen, sowie für die Auswahl direct vergleichbare Fälle herzustellen; beobachtet man diese beiden Puncte nicht, so tritt sehr leicht der Fall ein, dass einzelne Fehler wieder wachsen, während man der Meinung war, alle zu verkleinern.

Es dürfte kaum gelingen, die Bedingungen 7) und 8) streng zu erfüllen, wenn ein ebenes Bild von grosser (Winkel-) Ausdehnung verlangt wird; während dies nicht schwierig ist, wenn das Bild auf einer mit der Brennweite als Radius beschriebenen Kugelfläche liegen darf.

Schliesslich sei es mir noch gestattet, einige einfache Constructionen zu erwähnen, welche durch trigonometrische Rechnung festgestellt wurden und die Elemente anzuführen, welche dabei als veränderliche Grössen in Betracht kamen.

Bekanntlich wäre es unmöglich, achromatische Linsen mit positiven Brennweiten herzustellen, wenn bei den beiden verwendeten Glasarten das Verhältniss der Brechungskräfte dem der Zerstreuungskräfte gleich wäre; wenn z. B. ein Flintglas, das bei gleichem Prismenwinkel die Ausdehnung des Spectrum's noch einmal so gross, gibt ein Crownglas, auch einen noch einmal so grossen Brechungscoefficienten hätte.

Es ist ferner unmöglich, ein achromatisches Objectiv aus zwei verkitteten Linsen herzustellen, welches gleichzeitig die Kugelgestalt und Farbenfehler hebt, wenn diejenige Glasart, welche die stärkere Zerstreuungskraft besitzt, eine schwächere Brechungskraft hätte [1]).

Hieraus folgt die grosse Wichtigkeit, welche die Wahl der Glasarten in Bezug auf ihre Brechungs- und Zerstreuungskräfte für optische Construction haben muss.

Berücksichtigt man nun zur Bestimmung der günstigsten Form eines Doppelobjectives die Wahl der Glasarten in der angedeuteten Weise und den Einfluss der Reihenfolge der Glasarten, so wird man auf:

1) ein Doppelobjectiv geführt, bei welchem die Flintglaslinse vorausliegt und das den Kugelgestaltfehler für 2 verschiedene Distancen streng hebt. Dieses Objectiv erfüllt sämmtliche Bedingungen, denen das Frauenhofer'sche genügt und ist in Bezug auf die Form der Bildfläche besser. Zum Gebrauche der opt. und astron. Werkstätte ist dasselbe in Tafeln gebracht worden.

2) Das monocentrische Objectiv, bei welchem das Bild auf einer Kugelfläche liegt, deren Radius die Brennweite, deren Mittelpunct der gemeinschaftliche Hauptpunct ist (es fallen nämlich die beiden Hauptpuncte in einen zusammen). Es erfüllt sämmtliche 8 oben gestellten Bedingungen und es ist hiebei nur über 2 Radien, die Wahl und die Reihenfolge der Glasarten verfügt. Es besteht aus einer Kugel und zwei gleichen Meniscen, in deren innern Flächen die Kugel eingekittet ist, während die äusseren mit einem (um die Dicke) längeren Radius aus dem Mittelpuncte der Kugel gezogen sind. In dem Meridian der Kugel, der senkrecht zur optischen Axe des Systemes steht, ist eine Blendung eingeschliffen. Ein parallel zur Axe einfallender Büschel erfüllt die Bedingungen 1) bis 3); alle Hauptstrahlen gehen ungebrochen durch das System, alle gegen die Axe geneigten Lichtbüschel erleiden gleiche Brechungen wie der parallel zur Axe. Für Fälle, in welchen kein grösseres Gesichtsfeld verlangt wird, als beim Fernrohr- oder Mikroscopobjectiv ist die Kugelform der Bildfläche kein Nachtheil, da die Sicherheit der Einstellung geringer ist als die Verstellung, welche der Rand eines solchen Bildes gegen die Mitte erfordert.

---

1) Beim menschlichen Auge ist die Anordnung der brechenden Flächen und die Reihenfolge der Medien eine solche, dass dabei der Kugelgestaltfehler nicht gehoben werden kann; denn alle Ablenkungen, die ein parallel zur Axe einfallender Strahl erleidet, liegen in derselben Richtung; er wird stets zur Axe gebrochen.



Bei schlechten Constructionen von Mikroscopobjectiven ist die Krümmung der Bildfläche eine ausserordentlich viel stärkere. Das Objectiv, welches der Münchener Academie vorgelegt wurde, hat einen Oeffnungswinkel von $14^0 = {}^1/_4$ der Brennweite und 4‴ Aequivalentbrennweite.

3) Das aplanatische Objectiv mit ebenem Bilde erfüllt die Bedingungen 1)—6) streng; 7) und 8) sehr nahe; ist symmetrisch gegen den optischen Mittelpunct und jede Hälfte wird gebildet von einem verkitteten Doppelobjective, das aus einem positiven und einem negativen Flintglasmeniscus besteht.

Zur Berechnung desselben wurde über 3 Radien, einen Abstand, sowie über die Wahl und Reihenfolge der Glasarten als veränderliche Elemente verfügt. Es gestattet bei einem Oeffnungswinkel von $9^0\ 10'$ (gleich ${}^1/_7$ Brennweite) die Benutzung eines Gesichtsfeldwinkels von $36^0$; und durch Anwendung einer kleineren Centralblende bei einem Oeffnungswinkel von ca. $2^0$ gleich ${}^1/_{30}$ Brennweite die Benutzung eines Gesichtsfeldwinkels von $60^0$.

Bei diesem Objective sind ausser den für die Richtigkeit des Bildes nothwendigen 8 Bedingungen noch 2 weitere erfüllt, welche die Praxis fordert und zwar:

9) möglichste Vermeidung von Lichtverlusten und

10) Vermeidung störender Reflexbilder.

Da das aplanatische Objectiv zunächst zu photographischen Zwecken bestimmt ist, so sind die Helligkeit und die Tiefe[1]) der Bilder zwei sehr wichtige Eigenschaften, welche beide hauptsächlich vom Verhältnisse der Oeffnung zur Brennweite abhängen. Mit der Vergrösserung der Oeffnung im Verhältnisse zur Brennweite nimmt die Helligkeit zu, die Tiefe der Bilder jedoch nothwendig ab; desshalb ist es wesentlich den Einfluss derjenigen Ursachen zu vermindern, welche, ohne die Tiefe zu erhöhen, die Helligkeit der Bilder verkleinern. Es sind diess hauptsächlich die Lichtverluste durch Reflexion an den Glasflächen und die Absorption des Lichtes durch die Masse des Glases. Da die Verluste durch Reflexion mit der Grösse der Einfallswinkel und derjenigen des Brechungsunterschiedes der Medien wachsen, so bietet die Verkittung der inneren Flächen, welche viel stärker gekrümmt sind als die äusseren und der geringe Unterschied des Brechungscoefficienten

1) Ein Apparat gibt tiefe Bilder, heisst, er besitzt die Fähigkeit von ungleich entfernten Objecten gleichzeitig ein deutliches Bild in derselben Ebene zu erzeugen.



der beiden verwendeten Flintgläser in dieser Beziehung bedeutenden Vortheil. Der geringe Brechungsunterschied der verwendeten Glasarten bedingt überdiess noch eine Form der Linsen, die bei Herstellung eines ebenen Bildes einen nur geringen Abstand der beiden Objective erfordert; diess gewährt den Vortheil, dass auch bei Benutzung eines grossen Sehfeldes die Linsen nur um Weniges grösser zu sein brauchen, als es der Oeffnungswinkel (die Helligkeit des Bildpunctes in der Axe) erfordert; und es ist leicht einzusehen, dass kleinere Linsen mit geringeren Dicken ausgeführt werden können; dadurch ist eine Verminderung der Lichtverluste durch Absorption erzielt. Schliesslich bietet die Meniscenform der beiden Objective den Vortheil, dass die Reflexbilder, welche von Strahlen gebildet werden, die eine gerade Anzahl von Reflexionen erlitten haben und desshalb in der Richtung gegen das Bild weiter gehen, sämmtlich zwischen oder ganz nahe an den Linsen liegen, so dass das von ihnen ausgehende diffuse Licht in der Bildebene keine störende Intensität mehr hat, zumal diese Reflexbilder sehr kleinen Brennweiten entsprechen. Während alle bis jetzt gebräuchlichen Constructionen, bei welchen der Kugelgestaltfehler gehoben ist, wenigstens 6 Brechungen von Luft in Glas haben, hat das aplanatische Objectiv deren nur 4 und in Folge dessen auch weniger reflectirtes Licht.

Die beiden als Muster der Münchener Academie vorgelegten Photographien sind mit einem solchen Apparate von 19‴ Oeffnung und 10″ Brennweite aufgenommen; der gleichfalls vorlag.

4) Die aplanatische Landschaftslinse, für Landschaften und Architecturen bestimmt, hat als grösste Helligkeit nur $^1/_{24}$ Brennweite; gewährt aber dabei ein ebenes deutliches Bild von 80$^0$ und gestattet bei kleineren Blendungen Gesichtsfeldwinkel von 105 Graden. Es gibt bei 7‴ Oeffnung und 6″ Brennweite Bilder bis 16″ Durchmesser. Es erfüllt die gleichen Bedingungen wie das lichtstärkere aplanatische Objectiv, ist aber aus anderen Glasarten, deren Brechungscoefficienten nicht $^2/_3$ Procente von einander verschieden sind.

---

# Kleinere Mittheilungen.

## Apparat für die Demonstration der Gesetze der Wurfbewegung.

Von Prof. **E. Hagenbach** in Basel.

Hiezu Tafel XXVII, Figur 17, 17a und 17b.

Der Apparat besteht aus einem hölzernen Gestell $ABCD$, das einen Meter hoch und einen Meter breit ist, die dritte Dimension ist willkührlich, man macht sie so gross, dass das Gestell eine hinreichende Festigkeit hat. Ein Brett $EF$, von gleichen Dimensionen wie das Brett $AB$, ist durch Scharniere an das Brett $AB$ befestigt; die verschiedenen Neigungen können an einem getheilten Bogen aus Messing abgelesen werden; ein Stift dient dazu, das Brett in den für die Demonstration wichtigen Stellungen von $10^0$, $30^0$, $45^0$, $60^0$, $80^0$ festzuhalten. Der Rand des Brettes $EF$ ist in 10 gleiche Theile getheilt, und von den Theilpuncten hängen an Schnürchen die Bleikugeln $G_0$, $G_1$, $G_2$, . . . . $G_{10}$, die Längen der Schnürchen sind 0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 und 100 Centimeter. Nun ist leicht zu sehen, dass für verschiedene Neigungen $EF$ die Kugeln von selbst die Lage annehmen, welche der ersten, zweiten, dritten etc. Secunde entsprechen, und das Auge ergänzt leicht die parabolische Flugbahn. Dass bei dem vorliegenden Modell die Grösse $G_2$ in dem Maassstabe von $1^{cm.}$ und die Geschwindigkeit $v$ in der Grösse von $10^{cm.}$ aufgetragen wurde, ist ersichtlich; die Parabel ist somit immer eine im Maassstab von $^1/_{491}$ ausgeführte Darstellung der Wurfbahn für eine Geschwindigkeit von 49,1 Meter. Es lässt sich mit dem Apparate nur die Aenderung der Parabelgestalt bei veränderlichem Neigungswinkel, nicht aber bei veränderlicher Geschwindigkeit zeigen; das letztere liesse sich durch die Verschiebung der Anheftpuncte an dem Brette $EF$ erreichen; doch ist die Abhängigkeit der Parabelgestalt von der Geschwindigkeit so einfach, dass es sich kaum lohnen würde, diese weitere Compli-

cation an dem Apparate anzubringen. Die Zunahme der Wurfweite von 0° bis 45° und dann wieder die Abnahme von 45° bis 90°, so wie die fortwährende Zunahme der Wurfhöhe von 0° bis 90° wird mit dem Apparate auf sehr anschauliche Weise den Zuhörern vorgeführt; auch ist unter anderem sehr leicht damit zu zeigen, dass die Wurfhöhe bei 45°, die Wurfhöhe bei 90° und die Wurfweite bei 45° sich wie 1 : 2 : 4 verhalten.

---

## Verschiedene Mittheilungen.

Von **A. Weinhold**
in Chemnitz.

Hiezu Tafel XXVIII, Figur 1—6.

1) Quecksilber lässt sich ohne den Natterer'schen Apparat auf folgende Weise leicht im Zimmer durch schweflige Säure zum Gefrieren bringen, ohne dass man durch den Geruch der letzteren belästigt wird.

In einer Glasbüchse steht, durch einen (wenn auch nur lose schliessenden) Kork gehalten, ein gläserner Lampencylinder *aa* (Tafel XXVIII Figur 1), in dem, abermals durch einen Kork gehalten, ein kurzes, weites Probirglas *bb* steckt, durch dessen siegellackverkitteten Kork ein dünnwandiges Probirgläschen *c* und zwei rechtwinkelig gebogene Glasröhren *d* und *f* (2,5$^{mm}$ im Lichten) hindurchgehen. Das Glas *c* dient zur Aufnahme von 15—25$^{grm}$ Quecksilber, *bb* wird auf die unten angegebene Weise mit tropfbarer schwefliger Säure gefüllt, auf den Boden der Büchse kommt 1—2$^{cm}$ hoch englische Schwefelsäure, um die zur Wärmeabhaltung dienende Luft zu trocknen und einen Eisniederschlag aus derselben zu verhindern, der die Durchsichtigkeit des Apparates stören würde. Mittelst eines Blasebalges (von einem Glasblasetische) treibt man einen mässigen Luftstrom zuerst um ihn zu trocknen durch ein 2$^{cm}$ weites, 30$^{cm}$ langes, mit Bimssteinbrocken und etwas Schwefelsäure gefülltes Rohr *g* und dann durch *f* durch die schweflige Säure, um diese lebhaft verdunsten zu machen. Die aus *d* mit schwefliger Säure gesättigt entweichende Luft leitet man durch ein dem Rohre *g* ähnliches, nur Natronlauge anstatt der Schwefelsäure enthaltendes und etwa doppelt so grosses Rohr oder auch nur auf den Boden eines Standcylinders, der mit groben,

natrongetränkten Bimssteinbrocken gefüllt ist. Die Luft entweicht ganz geruchlos und in wenigen Minuten ist das Quecksilber gefroren, das sich, nachdem es an den Wänden des Glases wieder etwas geschmolzen ist, an einem zuvor hineingesteckten, unten umgebogenen Eisendraht herausziehen lässt. Selbst in sehr warmen Zimmern dauert es dann 2—3 Minuten, ehe das letzte Quecksilber durch Schmelzung abtropft. Aus circa 400$^{c.c.}$ engl. Schwefelsäure und 240$^{gr.}$ Kupfer, die man in einem Kolben erwärmt, erhält man 1$^1/_2$ Stunde genug schweflige Säure, um den Versuch etwa 8 Mal anstellen zu können. Das durch eine Waschflasche mit Schwefelsäure getrocknete Gas leitet man in ein Gefäss, das in einem Gemisch von 1 Pfund Kochsalz mit einigen Pfunden Eis steht, welches man nach und nach theilweise erneuert; die tropfbare Säure füllt man durch ein kleines, lang und dünn ausgezogenes Trichterrohr, welches man nach dem Eingiessen jeder Portion oben mit dem Daumen verschliesst, in circa 15$^{cm.}$ lange, unten rund zugeschmolzene, oben zu einer Weite von 2$^{mm.}$ ausgezogene Röhren, die sich, im Kältegemisch stehend, leicht zuschmelzen lassen, wenn nur der Inhalt nicht ganz bis zum Niveau des Kältegemisches reicht. Wenn die Röhren Wandstärke und Caliber gewöhnlicher Verbrennungsröhren besitzen, ist ihre Aufbewahrung ganz gefahrlos. Jede Röhre erhält nur die zu einem Versuch nöthige Menge von 10—12$^{c.c.}$. Um eine solche Röhre in den Apparat zu entleeren, kühlt man sie mit Eis und Salz (oder Salmiak, Salpeter und Wasser) bis etwa — 10$^0$ C. ab, ritzt das dünne Ende mit der Feile ein, schiebt es in ein Stückchen Kautschukrohr, das am andern Ende ein rechtwinkeliges Glasrohr trägt, welches wiederum durch einen Kautschukschlauch mit *f* verbunden ist. Ein Quetschhahn ist über eine der Glasröhren geschoben, um später zeitweilig absperren zu können. Man bricht nun die Röhre an der eingeritzten Stelle mit der Feile ab, während man sie senkrecht hält und lässt dann durch Steigen derselben die schweflige Säure nach *bb* fliessen. Ist dies geschehen, so zieht man das entleerte Rohr ab (es wird am besten in ein Gefäss mit Natronlauge gestülpt) und verbindet nun erst *f* mit *g*. Das rechtwinklige Glasrohr, welches dient, um ein Hineinreissen von Glassplittern nach *f* zu verhüten, wird zweckmässig mit dem Schwefligsäurerohr zugleich entfernt.

Hat man keinen Blasbalg im Experimentirzimmer, so kann man durch einen Aeolus (nach dem Princip von Sprengel's Quecksilber-

luftpumpe, diese Zeitschrift Bd. III, Heft 4, p. 265) einen Luftstrom durch den Apparat saugen lassen. Als Flüssigkeit für diesen wendet man gleich verdünnte Natronlauge an, um so den an *d* anzusetzenden Absorptions-Apparat zu ersparen und anstatt des Rohres *g* benutzt man eine einfache Waschflasche mit Schwefelsäure, da man mittelst des Aeolus leicht einen hinlänglich kräftigen Luftstrom erhält, um den Flüssigkeitsdruck in dieser zu überwinden.

2) Um Quecksilber zu seiner Reinigung in feinen Tröpfchen durch eine hohe Säule von verdünnter Salpetersäure oder einer andern Flüssigkeit fliessen zu lassen, empfiehlt sich folgende Vorrichtung, bei welcher man nicht durch das Steigen der Flüssigkeit, wie es in einem einfachen Cylinder stattfindet, belästigt wird und bei der man das Quecksilber gleich einigermaassen trocken erhält.

Ein etwa $2^{cm}$ weites und $1^{m}$ langes Glasrohr *AA* (Taf. XXVIII Fig. 2) ist unten verengert und etwa $10^{cm}$ hoch aufwärts, dann seitlich und zuletzt wieder kurz nach unten gebogen. $2-3^{cm}$ über der Verengerung befindet sich ein seitlicher Ansatz *a*, der mit Kautschukschlauch und Quetschhahn verschlossen ist. Nachdem man in das Rohr etwas Quecksilber gegossen hat, hält man dasselbe mit der Waschflüssigkeit und lässt einen feinen Quecksilberstrahl oben einfliessen. Bei *b* fliesst das Quecksilber in eine untergesetzte Flasche, durch *a* kann man die Waschflüssigkeit entfernen, um sie zu erneuern oder zu wechseln. In verhältnissmässig kurzer Zeit kann man mit dieser Vorrichtung eine ziemliche Menge von Quecksilber wiederholt mit Salpetersäure und dann nach einander mit Wasser, Weingeist und Aether waschen, worauf es durch gelindes Erwärmen schnell ganz trocken zu erhalten ist.

3) Eine bequeme Vorrichtung, um die Temperaturveränderung der Luft bei Compression und Dilatation zu zeigen, ist in Tafel XXVIII Figur 3 in $1/2$ natürlicher Grösse dargestellt. *AB* ist ein luftleeres, soweit es die Zeichnung angibt, mit rothgefärbtem Aether gefülltes Differentialthermometer, dessen eine Kugel *A* in eine grössere Glaskugel *C* eingeschmolzen ist, welche oben ein Rohr zum Ansetzen eines Kautschukschlauches trägt. Eine mit der Luftpumpe (oder durch Saugen mit dem Munde am Kautschukschlauch und Wiederzulassen von Luft) bewirkte Druckänderung von einigen Zollen Quecksilber verursacht ein Fallen und Steigen des Aethers bei *a* von mehreren Centimetern.

4) Bei der Entwicklung von Kohlensäure, Wasserstoffgas u. dgl.

tritt oft ein sehr unangenehmes Hineinreissen von Luftblasen in die Entwicklungsflasche ein, wenn durch ein gewöhnliches Trichterrohr Flüssigkeit nachgegossen wird. Dieser Uebelstand ist bei dem in Tafel XXVIII Figur 4 abgebildeten Trichterrohr vermieden, dessen Einrichtung wohl ohne weitere Erläuterung verständlich ist.

5) Eine einfache Wellenmaschine zur Demonstration der Erscheinungen beim Zusammentreffen zweier rechtwinklig auf einander polarisirter Wellenzüge kann man, mit Hülfe eines nur einigermaassen geschickten Tischlers, Drechslers und Nadlers auf folgende Weise herstellen:

Ein Fussbrett $AA$ (Tafel XXVIII Figur 5 und 6) trägt eine $7^{cm}$ hohe Leiste $B$ und zwei $33^{cm}$ hohe, oben verbundene Ständer $CC$. Durch diese gehen zwei $1^{cm}$ starke, hölzerne Axen $aa$, welche ausserhalb des einen Ständers einen $2^{cm}$ starken Ansatz haben, ausserhalb des andern Ständers mittelst durchgesteckter Stifte vor dem Zurückgleiten geschützt sind. Auf die Ansätze sind zwei mit Schnurscheiben versehene Hülsen $bb$ aufgesteckt, von denen die untere festgeleimt wird, die obere durch eine Pressschraube $c$ in beliebiger Stellung festgeklemmt werden kann. Auf die Axen kommen je 24 (auch mehr oder weniger) kreisförmige Excenterscheiben von etwa $6^{cm}$ Durchmesser und $1^{cm}$ (oder weniger) Dicke. Dieselben sind $1^{cm}$ neben ihrem Centrum genügend weit durchbohrt, um auf die Axen gesteckt zu werden und werden auf dieselben und an einander festgeleimt. Jede derselben ist gegen die nächste um $45^0$ oder $30^0$ verstellt. Am Umfang sind sie mit eingedrehten Rinnen von halbkreisförmigem Querschnitt versehen. Auf, respective an jede untere und obere Excenterscheibe kommt ein circa $3^{mm}$ starker Draht $def$ zu liegen, dessen schleifenartige Biegungen bei $d$ und $e$ bewirken, dass er mit mässiger Federkraft an die Scheiben angedrückt wird. Um die Schnurscheiben der Hülsen $bb$ ist eine straffe Schnur gelegt und ausserdem sind dieselben durch eine Zugstange $gh$ verbunden, damit man sie von der Kurbel $g$ aus sicher in gleichmässige Umdrehung versetzen kann. Auf die Drähte sind bei $e$ und $f$ Glasperlen oder andere Knöpfchen aufgesetzt, welche die Aethermolecüle darstellen. Die schwachgekrümmten Curven, welche dieselben bei einer Drehung der Axen beschreiben, kann man ohne wesentlichen Fehler für die geradlinige Bewegung der Aethermolecüle setzen. Die Perlen bei $e$ geben die einfache verticale, die bei $f$ die zusammengesetzte Welle; die Phase kann man

durch Verstellen der obern Axe (mittelst der Pressschraube $c$) beliebig ändern, um geradlinige, elliptische oder kreisförmige Bewegung zu erhalten. Will man die horizontale Welle allein haben, so kann man ein Stäbchen durch die Drahtschleifen bei $e$ stecken und so die Drähte auf ein Niveau heben. Die wesentlichen Dimensionen, soweit sie nicht hier aufgeführt sind, ergeben sich aus den Figuren. In Tafel XXVIII Figur 5 ist nur einer der Drähte $def$ gezeichnet und von den Excenterscheiben nur je eine punctirt angedeutet. Schliesslich sei noch bemerkt, dass die Lage für die Axen in den Ständern $CC$ nach vorn offen sein müssen, um die Axen einlegen zu können; nachdem dies geschehen, werden sie durch passende Holzstückchen verschlossen.

Chemnitz, December 1867.

---

## Die Darstellung optischer Anamorphosen.

Von Dr. **Hartmann Schmidt**
in Görlitz.

Es ist mit geringen Schwierigkeiten verbunden, eine gegebene Figur so zu zeichnen, dass sie, unter einem bestimmten Winkel von einem gegebenen Puncte aus angesehen, regulär erscheint. Schwieriger ist dies schon, wenn verlangt wird, dass die Figur so auf den äussern oder innern Mantel eines Kegels oder Cylinders aufgetragen werden soll, um dem in der Axe des Kegels oder an einem andern beliebigen Puncte befindlichen Auge als regulär zu erscheinen. Noch schwerer wird die Ausführung der Zeichnung bei katoptrischen Kegel- oder Cylinderanamorphosen, — am schwierigsten aber bei den dioptrischen Anamorphosen, welche durch eine Pyramide von beliebiger Seitenzahl, in deren Axe sich das Auge befindet, betrachtet, als regelmässige Bilder erscheinen. Alle diese Anamorphosen lassen sich aber sehr leicht darstellen, wenn man vermittelst des Heliostats einen Strahlenbüschel in ein dunkeles Zimmer leitet und durch ein biconvexes Glas in einem Punct vereinigt, so dass nun von diesem Punct aus die Strahlen wieder divergiren. Hält man nun in der Entfernung, in welcher später die Anamorphose angesehen werden soll, unter dem verlangten Winkel entweder die ebene Fläche, oder den mit weissem Papier überzogenen Kegel oder Cylinder, und dazwischen das Papier, auf dem sich die Zeichnung befindet, welche verzerrt darzustellen ist,

nachdem mit Stecknadelstichen die Contouren gezeichnet worden sind, so erzeugen die von dem Sammelpunct ausgehenden und durch diese Stecknadelöffnungen dringenden Strahlen eine vollständige Anamorphose auf dem entsprechenden Körper, welche nun leicht nachgezeichnet werden kann. In ganz derselben Weise verfährt man bei den katoptrischen und dioptrischen Anamorphosen, nur dass ehe die vom Convergenzpunct ausgehenden Strahlen auf den Kegelspiegel fallen, sie erst die durchstochene Zeichnung passiren müssen, um dann am Kegel reflectirt zu werden, und unten die entsprechende Anamorphose zu bilden. Noch zweckmässiger würde es sein, wenn man nicht weisses Papier anwendete, sondern photographisches Papier, dann wäre man der Arbeit des Nachzeichnens vollständig überhoben.

---

## Ueber die Bedingungen, unter welchen Cubikzoll und Loth in dieselbe Beziehung, wie Cubikcentimeter und Gramm, zu einander treten.

Von Dr. K. L. Bauer,
Assistent der Physik am Polytechnikum zu Karlsruhe.

Als einen Hauptvorzug des französischen Maasssystems pflegt man gewöhnlich die einfache Verknüpfung des Gewichtes mit dem Körper- und Längenmaasse hervorzuheben; die mit dem Namen Gramm bezeichnete Gewichtseinheit bedeutet bekanntlich nichts anderes, als das auf den leeren Raum reducirte Gewicht eines Cubikcentimeters Wasser, letzteres von der festgesetzten Beschaffenheit und der festgesetzten Schwerkraft unterworfen gedacht.[1]) Es ist nun sehr leicht, diese einfache Beziehung auch zwischen unsern deutschen Maassen Cubikzoll und Loth herzustellen. Setzt man nemlich

1 Fuss = 12 Zoll = 3 Decimeter = 30 Centimeter, und

1 Pfund = 32 Loth = 500 Gramm,

so sind 2 Zoll = 5 Centimeter, oder 8 Cubikzoll = 125 Cubikcentimeter, und 8 Loth sind = 125 Gramm. Weil nun 125 Cubikcenti-

1) Hierbei kann ich nicht umhin, mein Erstaunen darüber zu äussern, dass ich vergeblich in allen mir zu Gebote stehenden Werken darnach suchte, ob sich der Begriff des Grammes auf das Meeresniveau unter der Pariser Breite, oder unter der Breite von 45°, oder unter irgend einer andern Breite bezieht, oder ob — woran ich jedoch zweifle — das Gramm überhaupt kein absoluter, sondern ein mit der geogr. Breite und der Erhebung über die Meeresfläche variirender Werth ist.



meter Wasser 125 Gramm wiegen, so wiegen 8 Cubikzoll 8 Loth; demnach wiegt Ein Cubikzoll Wasser gerade ein Loth.

Wären also die obigen Bedingungen erfüllt, was für das badische Maass z. B. mit Ausnahme des einzigen Umstandes, dass der Fuss 10 statt 12 Zoll hat, wirklich der Fall ist, so würde uns das auf Wasser bezogene specifische Gewicht einer Substanz nicht blos das Gewicht eines Cubikcentimeters derselben in Grammen, oder das Gewicht eines Cubikdecimeters in Kilogrammen angeben, sondern auch gleichzeitig das Gewicht eines Cubikzolles in Lothen.

Unabhängig von der Zahl der Zolle, in die man den Fuss theilt, wiegt unter den gegebenen Voraussetzungen Ein Cubikfuss = 27 Cubikdecimeter bekanntlich geradeaus 54 Pfund = 27 Kilo.

Karlsruhe, 1. Januar 1868.

---

## Die erste Idee zum Pulsmesser.

Herr Prof. Pisko in Wien theilte uns in einem Briefe eine Stelle aus Lichtenberg's Schriften (Göttinger Ausg. II. Bd. p. 185) mit, aus welcher ersichtlich ist, dass derselbe schon im Principe die Idee zu den in neuerer Zeit stark beachteten Pulsmessern und Pulsschreibern hatte und dass er auch dem Phonautographen nahe genug war. Die betreffende Stelle ist folgende: „Die verschiedenen Arten von Pulsen, ihrer Geschwindigkeit sowohl als ihrer Härte nach, müssten sich durch eine Maschine, durch schwingende Darmsaiten von verschiedener Dicke und Spannung deutlich machen lassen. So etwas liesse sich in Collegien gebrauchen“.

---

## Die Bildung der Schneefiguren.

Von Prof. Pisko.

Wir entnehmen einem populären Aufsatze über die Eisvegetation von Prof. Pisko folgende Stelle, welche uns hinsichtlich der Bildung der Schneeformen beachtenswerth erscheint. Nachdem in jenem Vortrage die Geschichte der Studien über die Schneegestalten gegeben ist, beginnend mit Kepler (1611) und schliessend mit Scoresby (1820) heisst es weiter:

Die am häufigsten vorkommende Schneegestalt ist der regelmässige, sechsarmige Stern; je zwei seiner Zacken schliessen mit einander einen Winkel von 60 Graden ein. Dann kommen noch, ebenso symmetrisch gebaut, Sterne mit 3, 4, 12 und 18 Zweigen. Die Anzahl der letzteren ist demnach entweder durch 3 oder 4 theilbar. Ein einzigesmal findet sich (1747) in Engelmann's Zeichnungen eine gleichgetheilte fünfzackige Form.

Die gewöhnliche Annahme, dass der sechsarmige Stern die Grundgestalt der Schneegebilde, der dreiarmige also eine Halbfigur sei und die übrigen Schneegestalten durch äussere Zufälle zwischen einander gelagerte Formen wären, wird von dem fatalen Vierzweig und mehr noch durch die höchste Regelmässigkeit der zusammengesetzteren Exemplare entkräftet. Die bei der Crystallisation der Schneeformen thätigen polaren Molecularkräfte können wohl vermöge ihrer nach bestimmten Richtungen zielenden Wirkungen eine Symmetrie erzeugen; es leuchtet aber nicht ein, wie zufällige Spaltungen oder Uebereinanderlagerungen stets so höchst regelmässig ausfallen sollten. Auch die mit geschlossenen, polygonalen oder ringförmigen Rändern versehenen Schneesterne verdanken ihren Ursprung den bei der Crystallisation arbeitenden molecularen Polarkräften. Bei den kreisförmig umränderten Figuren liesse sich allenfalls die Abrundung auf Rechnung der Schmelzungs- und Verdunstungs-Verhältnisse bringen. Der Keim für die das Staunen erregenden Schneegebilde liegt höchst wahrscheinlich in unendlich kleinen vollkommen durchsichtigen und daher einzeln mit den Augen nicht mehr wahrnehmbaren Schneepünktchen, deren Dasein sich jedoch bei den jüngeren Luftfahrten durch Ablagerung auf dem Gesichte der anwesenden Naturforscher verrathen hat. Höchst wahrscheinlich sind diese Stäubchen bereits sternförmig und wachsen durch die sich daran condensirenden Wasserdünste. Es ist ferner auch begreiflich, dass an den Armen, wie sonst an einem festen Körper, Seitenzweige ebenfalls unter 60 Graden sich ansetzen, und gar leicht kann es durch die das Wetter bedingenden Ursachen kommen, dass zuletzt die mit polaren Kräften ausgestatteten Eistheilchen an den Zacken eine seitliche Lage bekommen und sich bis zur völligen Umgrenzung der Figur weiterbauen. Es wäre nicht unmöglich, dass hiebei die entgegengesetzten Electricitäten in's Spiel treten, da im Norden electrisch leuchtende Schneewolken zur Erscheinung kamen.

Bei hoher Kälte und trockener Luft können die oben erwähnten

Schneekeime nicht wachsen. Sie sinken langsam vermöge ihrer Schwere, wie beim Schlemmen der Materie, herab, durchdringen die feinsten Wände und überziehen die Polarreisenden selbst im Bette; sie sind die gefürchtetste Plage, besonders für die Augen der nordischen Reisenden. Bei hoher Kälte und feuchter Luft wachsen jedoch jene Sternchen zu den wahrnehmbarsten Schneeformen; es ist falsch, dass es bei hoher Kälte nicht schneien könne.

Die Schneekrystallchen entstehen so rasch aus den Dunst- oder Nebelbläschen, dass die tropfbare Zwischenform unmerklich wird (wie bei den sich niederschlagenden Schwefelblumen zu Blättchen u. dgl. mehr), sonach dieser Umstand nicht wenig zu ihrer Zartheit beiträgt. Es ist doch so, als ob sie unmittelbar aus der feinsten Form des Wassers, aus seinem Gase gebildet wären! Wenn man nach Horner (1826) Eisstückchen in einen weiten Glasballon legt und letzteren an ein kaltes Fensterglas lehnt, so sieht man den allerfeinsten Schnee an die gekühlte Seite der gläsernen Kugel anfliegen; es ist der gefrorne Dunst des nach der warmen Stube hinziehenden Eises. Man hat sublimirte „Eisblümchen". Vor 105 Jahren hatte schon Wilke den glücklichen Gedanken, die Schneesternchen künstlich entstehen zu lassen. Wie Franklin sich seiner Jugendjahre erinnerte, und den herbstlichen Papierdrachen der Kinder als Reagens für die electrische Beschaffenheit des Blitzes zu hohen wissenschaftlichen Ehren brachte, so that dies zwei Jahrzehnte früher Wilke mit den Seifenblasen. Mit unbeschreiblicher Geduld brachte dieser wackere Schwede die dünnen Doppelwände der Seifenballone bei hoher Kälte zum Erstarren und hatte die Freude, an der inneren Fläche der Hohlkugel die sechsarmigen Linear- und Flächen-Schneesterne aus einzelnen Nadeln anschiessen zu sehen. Die Nebenarme bildeten sich später und am Schlusse kam die Umrandung. Dies würde darauf hindeuten, wie die Schneekeime selbst zu Stande kommen und steht mit der obigen Ansicht über die Formung der Schneeexemplare nicht im Widerspruch.

---

## Apparat zum Schöpfen des Meerwassers aus bedeutenden Tiefen.

Von Dr. J. Lorenz.

In der Versammlung der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie vom 21. December 1867 wurde ein von Herrn Dr. Lorenz

construirter Apparat zum Schöpfen des Meerwassers aus bedeutenden Tiefen vorgezeigt. Dieser Apparat, der zu Schöpfungen im adriatischen Meere bestimmt ist, unterscheidet sich von den andern im Gebrauche stehenden dadurch, dass vor dem Versuche die Luft in einem Gefässe von ellipsoidischer Form durch eine kleine Hand-Luftpumpe verdünnt und, wenn der Apparat in die bestimmte Tiefe versenkt worden ist, an der Leine ein Laufgewicht aus Blei herabgelassen wird, welches einen Hahn öffnet, durch dessen Bohrung das Seewasser in das Gefäss einströmen kann. Die Röhre, an welcher der Hahn angebracht ist, reicht bis nahe zum Boden des Gefässes und ist an ihrem Ende mit einem Ventile versehen, welches dem Meerwasser zwar das Eindringen in das Gefäss, nicht aber das Ausfliessen gestattet. Bei dem Thermometer waren die beiden Bedingungen zu erfüllen, erstlich dasselbe mit einer Hülle (Glasröhre) zu umgeben, welche hinreichend stark sei, um einen Druck von vielen (bis gegen 100) Atmosphären auszuhalten, andererseits demselben doch die für den vorliegenden Zweck erforderliche Empfindlichkeit nicht zu benehmen. Herr Kappeller löste beide Aufgaben dadurch, dass er das Thermometer in eine starke, oben und unten hermetisch geschlossene Glasröhre einsetzte und den Raum in dieser Glasröhre um die Kugel des Thermometers herum mit Quecksilber ausfüllte. Versuche, die Herr Kappeller anstellte, haben gezeigt, dass das Thermometer ungeachtet der starken Glashülle ziemlich rasch die Temperatur der Umgebung annahm.

---

## Franklin's electrischer Bratenwender.

Wir haben bereits im vorigen Hefte des Repertoriums (pag. 386) die Versuche angegeben, bei welchen die Drehung einer Glasscheibe durch electrische Anziehung und Abstossung mit Hilfe von zwei Influenzmaschinen, dann mit einer Influenz- und einer Reibungs-Electrisirmaschine ausgeführt wurden. In Poggendorf's Annalen (1867. Nr. 11) erinnert nun Herr Professor P. Ries (der betreffende Artikel ist mit P. R. unterzeichnet) an die Art, wie Franklin 1748 jene Drehung zu Stande brachte. Der Rand einer horizontalen drehbaren Holzscheibe war radial mit etwa 30 Glasstreifen besetzt, die an den freien Enden Metallknöpfe trugen. Zwei Flaschen, mit den entgegengesetzten Electricitäten geladen, waren so aufgestellt, dass ihre Zuleiter bei der Drehung

der Scheibe jedem dieser Knöpfe nahe kamen, die Knöpfe successiv anzogen und nach Ertheilung eines Funkens, abstiessen. So kam das Rad in Rotation mit einer Geschwindigkeit von 12 bis 15 Umdrehungen in der Minute und solcher Kraft, dass es mit hundert spanischen Thalern beschwert werden konnte, ohne still zu stehen. Franklin nannte diese Vorrichtung den electrischen Bratenwender und beabsichtigte mit seiner Hilfe ein Huhn, später sogar einen Truthahn zu braten (Exper. and observ. 5[th] ed. p. 32 u. 38). Einfacher wurde eine Glasscheibe von 17 Zoll Durchmesser durch electrische Wirkung gedreht. Die Scheibe war auf beiden Flächen bis 2 Zoll vom Rande metallisch belegt und von den Belegungen gingen, entfernt von einander, zwei Metallarme mit Endkugeln über den Rand hinaus. Die Scheibe wurde drehbar zwischen zwölf in einen Kreis gestellte isolirte Metallknöpfe gebracht und drehte sich, nachdem sie in gewöhnlicher Weise geladen war, eine halbe Stunde lang mit der mittleren Geschwindigkeit von 20 Umdrehungen in der Minute.

---

## Ein Quetschhahn neuer Construction.

Von W. Fr. Gintl.

Aus den Wiener Sitzungsberichten, December 1866.

(Hiezu Tafel XXVIII Figur 7 und 8.)

Den bisher üblichen Quetschhahnformen, und selbst der ihrer sinnreichen Einfachheit wegen schätzenswerthen Mohr'schen Form, haften Uebelstände an, die zumal bei häufigerem Gebrauche, wohl schon mehrfach empfunden worden sind. Die gewichtigsten derselben scheinen mir namentlich die zu sein, dass erstens fast alle der brauchbaren Quetschhahnformen auf das zu schliessende Caoutchoucrohr einen schiefen ungleichmässigen Druck ausüben, worunter zunächst die Caoutchoucröhren selbst leiden, während anderseits der Verschluss nicht immer ein verlässiger ist, und dass ferner bei all' den Formen, bei denen die Federkraft eines Metallbogens in Anwendung kommt, diese allmählich bei öfterem Gebrauche an Intensität abnimmt, und der Quetschhahn schliesslich nicht mehr zureicht, einen vollkommenen Verschluss zu bewerkstelligen. Ich halte es sonach nicht für überflüssig, im Nachstehenden die Beschreibung eines Quetschhahnes zu geben, den ich mir zum Zwecke des Buretten-Verschlusses construirt und in diesem Sinne recht brauchbar gefunden habe.

Derselbe besteht aus zwei Metall-Lamellen *A* und *B* (siehe Fig. 7 und 8) von circa $^1/_2'''$ Dicke, $1^3/_4''$ Länge und $^1/_2''$ Breite. Die Form dieser Lamellen ist so gewählt, dass die Breite derselben vom beiderseitigen Ende gegen die Mitte zu in der Art zunimmt, dass die beiden äussersten Viertel der Lamelle nach aussen zu sich verbreitern. Jede dieser Lamellen trägt an der einen der breiten Flächen einen Bügel *g g* aus gebogenem Drahte, aufgelöthet, und ist der Bügel der einen Lamelle etwa um die Stärke des verwendeten Drahtes im Lichten weiter, als der der anderen. In der Mitte des Bügelrückens ist parallel mit der Fläche der Lamelle ein ovales schwach concaves Blättchen *c* aufgelöthet, bestimmt, den drückenden Fingern, beim Oeffnen des Quetschers mehr Fläche zu bieten. Ausserdem finden sich an jeder der beiden Lamellen je zwei Ausschnitte *h*, und zwar von solcher Breite und Entfernung, dass die bis gegen die Mitte reichenden Ausschnitte je einer Lamelle, der Drahtstärke und Weite des Bügels der anderen Lamelle entsprechen.

Legt man nun die beiden, so adjustirten Lamellen, mit den die Bügel tragenden Flächen gegen einander gekehrt zusammen, und zwar so, dass die beiden Bügel sich in die Ausschnitte der andern Lamelle einfügen und stülpt man über die Enden der beiden Lamellen beiderseits je einen Abschnitt einer Caoutchoucröhre, so ist das Instrumentchen vollendet. Drückt man nun mit Daumen und Zeigefinger die beiden Blättchen *c*, gegeneinander, so öffnet sich der Quetschhahn und schliesst sich nach aufgehobenem Drucke sofort wieder.

Es ist anzurathen, die Caoutchoucringe von einer nicht vulcanisirten Caoutchoucröhre zu nehmen, da sich vulcanisirter Caoutchouc nicht gut eignet. Dass man den Druck, den der Quetscher auszuüben hat, nach Belieben reguliren kann, je nachdem man Abschnitte von engeren oder weiteren Röhren verwendet, oder die angewendeten Ringe mehr oder weniger gegen die Enden der Lamellen hinausschiebt, versteht sich von selbst, so wie, dass man auch in der Wahl der Breite der Röhrenabschnitte ein Mittel hat, eine stärkere oder minder starke Pressung zu erzielen. Ich glaube, durch obige Mittheilung die Zahl der bekannten Quetschhahnformen nicht unnützer Weise um eine vermehrt zu haben, da sich dem Instrumentchen, das bezüglich seiner Leistung den bekannten Formen durchaus gleichkommt, bequeme Handhabung, leichte Instandhaltung und nette Form gewiss nicht absprechen lassen.

---

# Register.

Die Zahlenangaben sind die Seitenzahlen.

# REPERTORIUM

FÜR

# PHYSIKALISCHE TECHNIK

FÜR

MATHEMATISCHE UND ASTRONOMISCHE

# INSTRUMENTENKUNDE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. PH. CARL,
PRIVATDOCENT AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

**DRITTER BAND.**

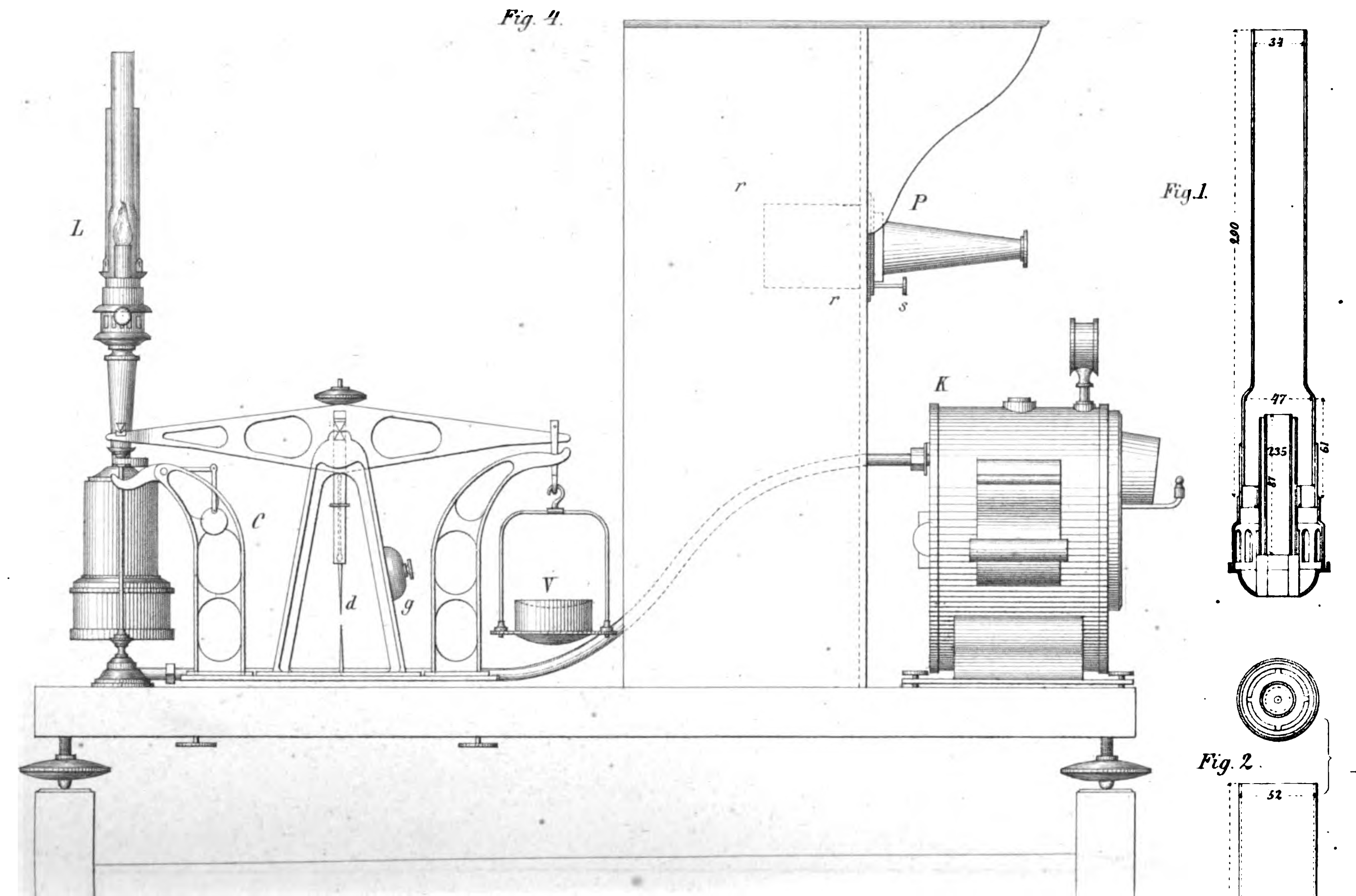
**ATLAS.**

TAFEL I BIS XXVIII.

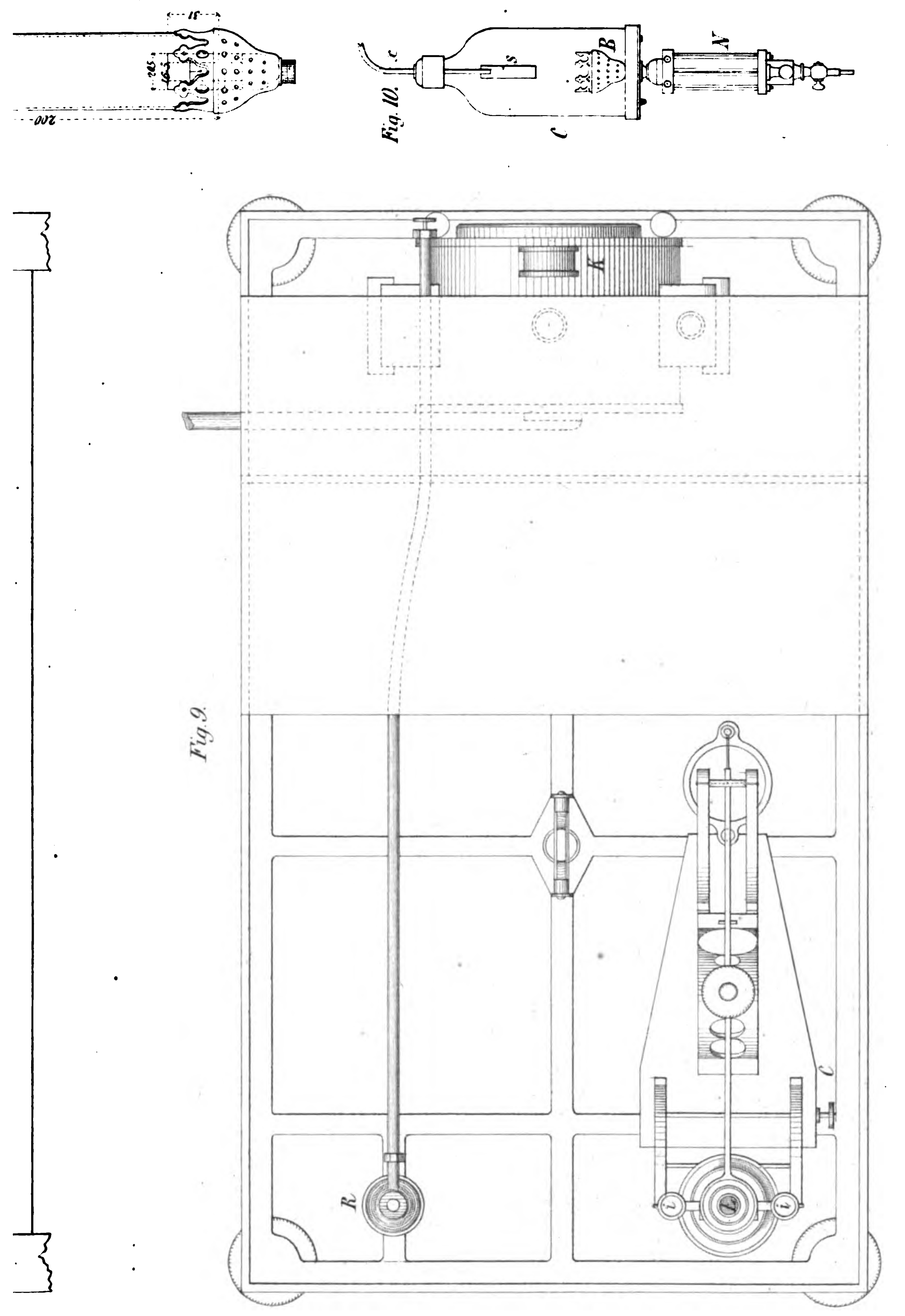
---

MÜNCHEN, 1867.
VERLAG VON R. OLDENBOURG.

# Verzeichniss der Figurentafeln.




Krist: Die photometr


Fig. 10.
c
s
B
N
C
K
Fig. 9.
R
L
C

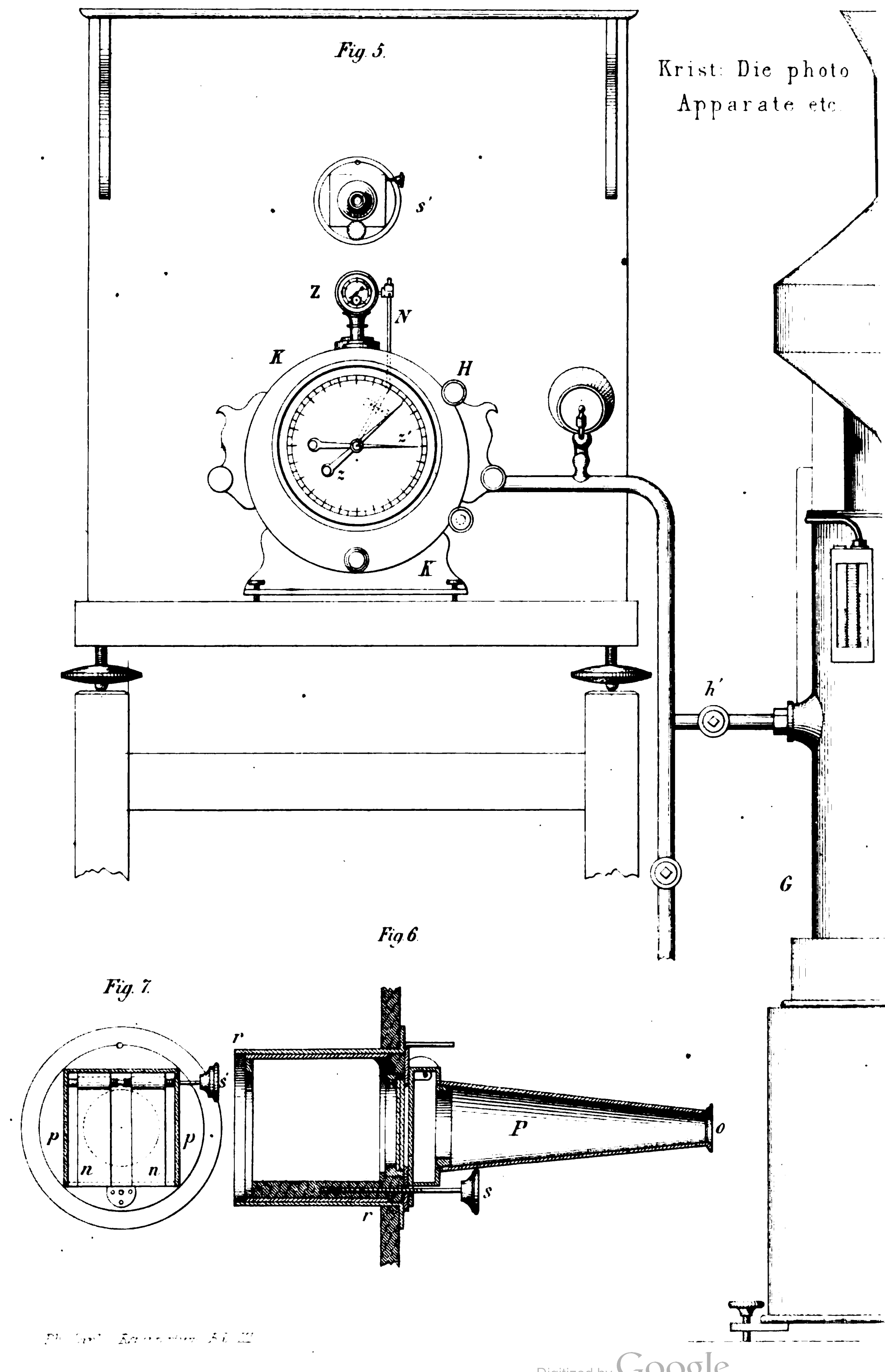
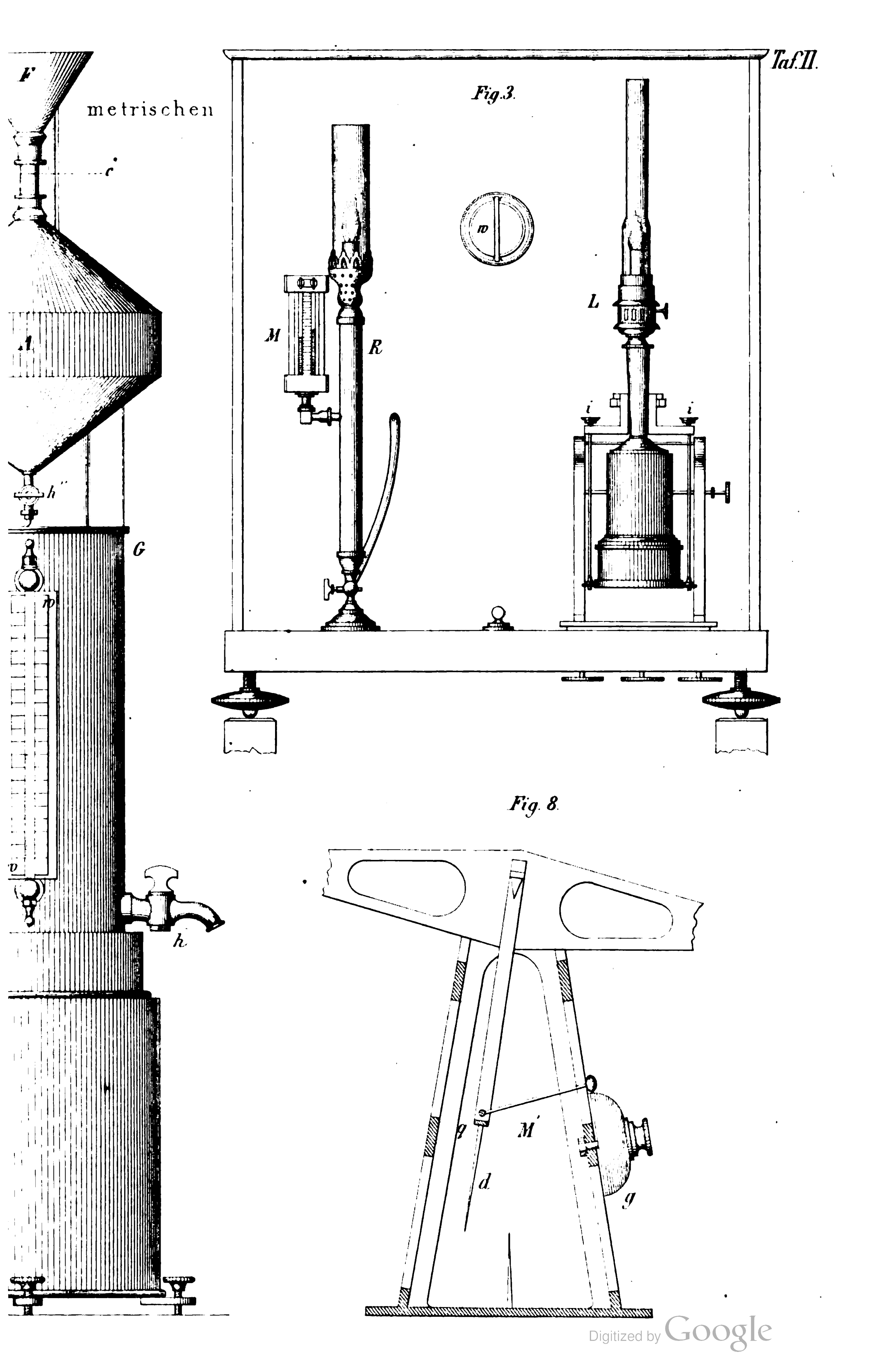


Fig. 5.
Krist: Die photo
Apparate etc.
s'
Z
N
K
H
z'
z
K
h'
G
Fig. 6.
Fig. 7.
r
s'
p
p
n
n
P
o
s
r


Taf. II.
Fig. 3.
Fig. 8.
metrischen
F
c
A
h''
G
w
v
h
M
R
L
i
i
w
M'
g
d
g

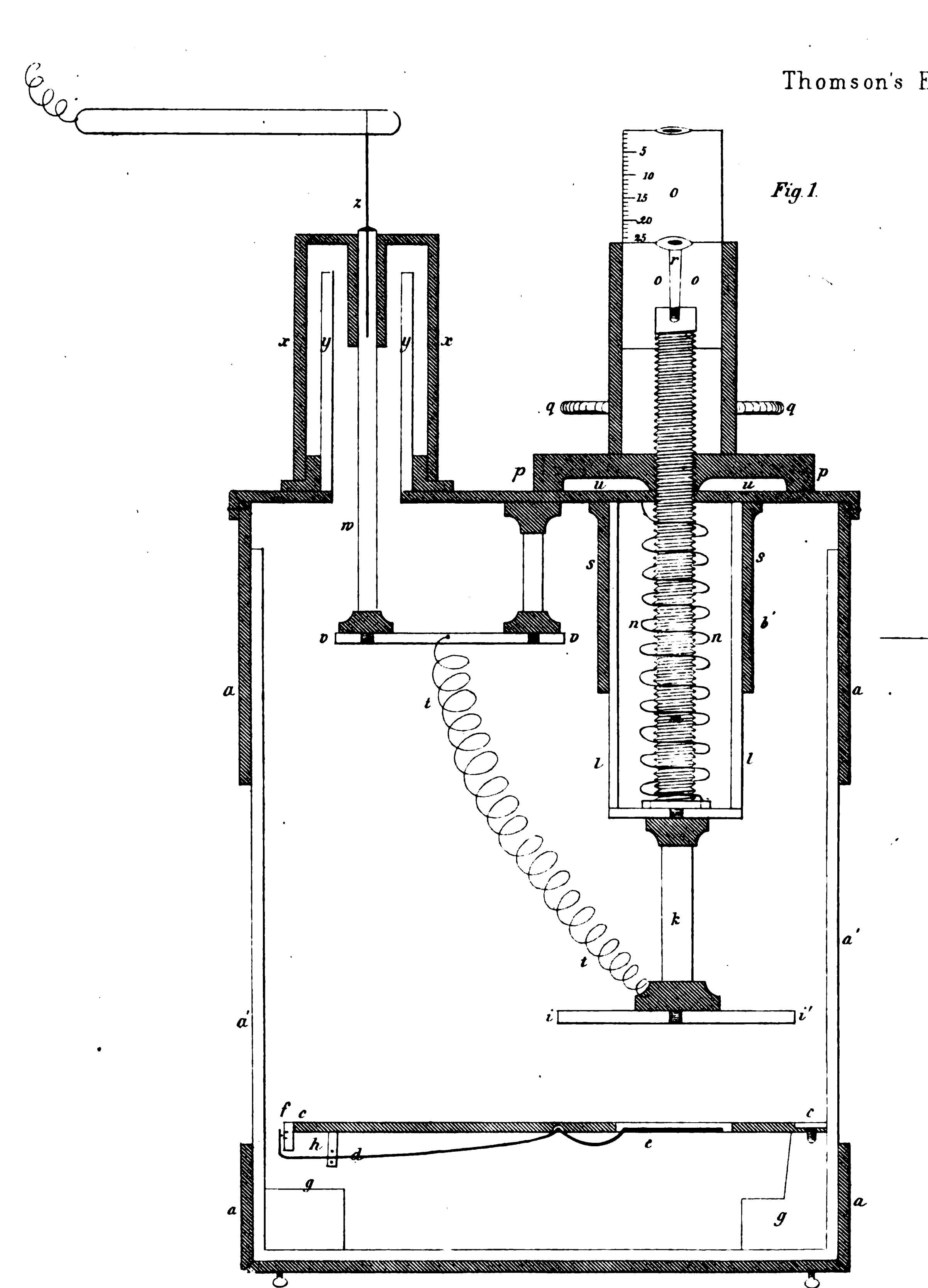
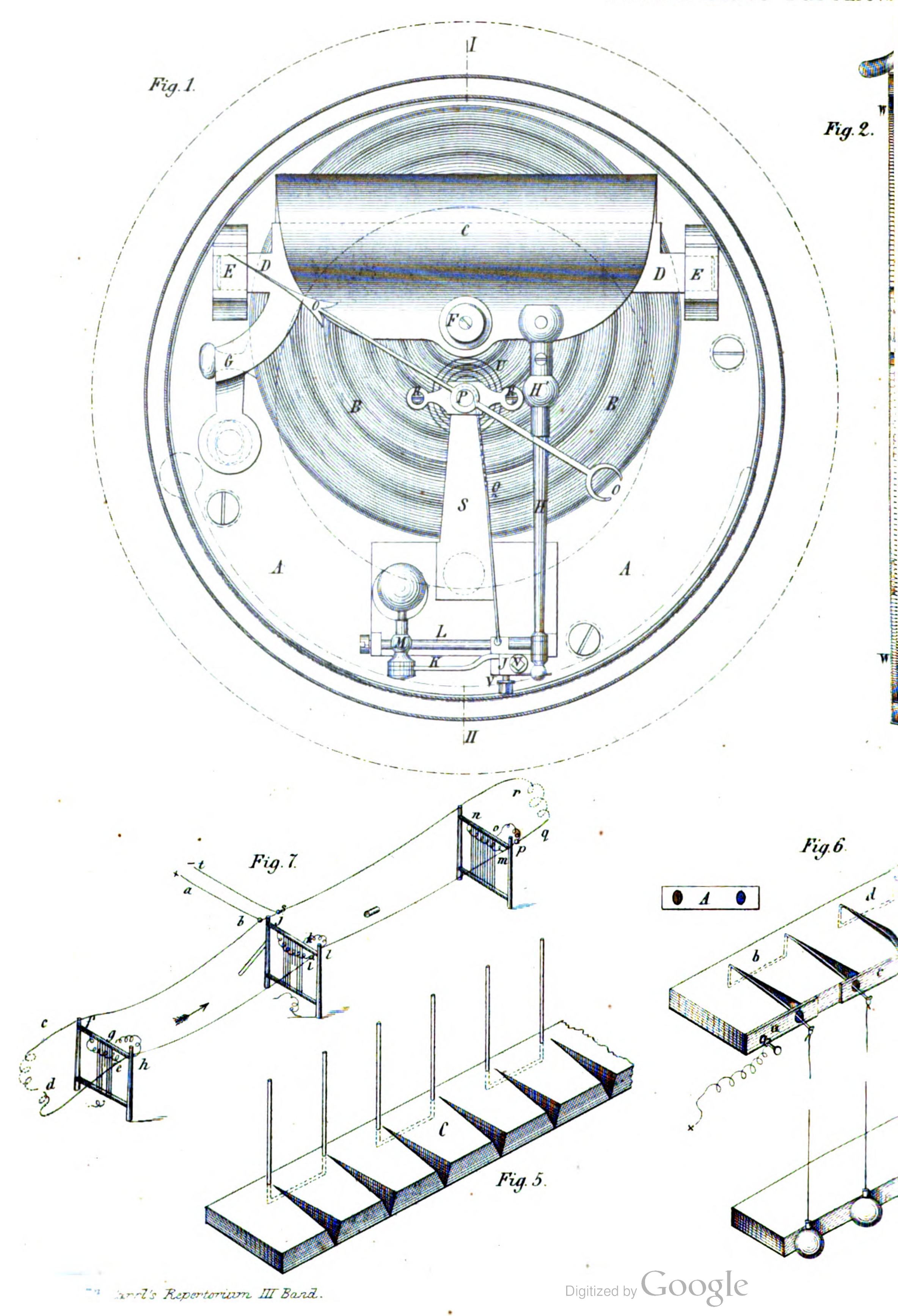
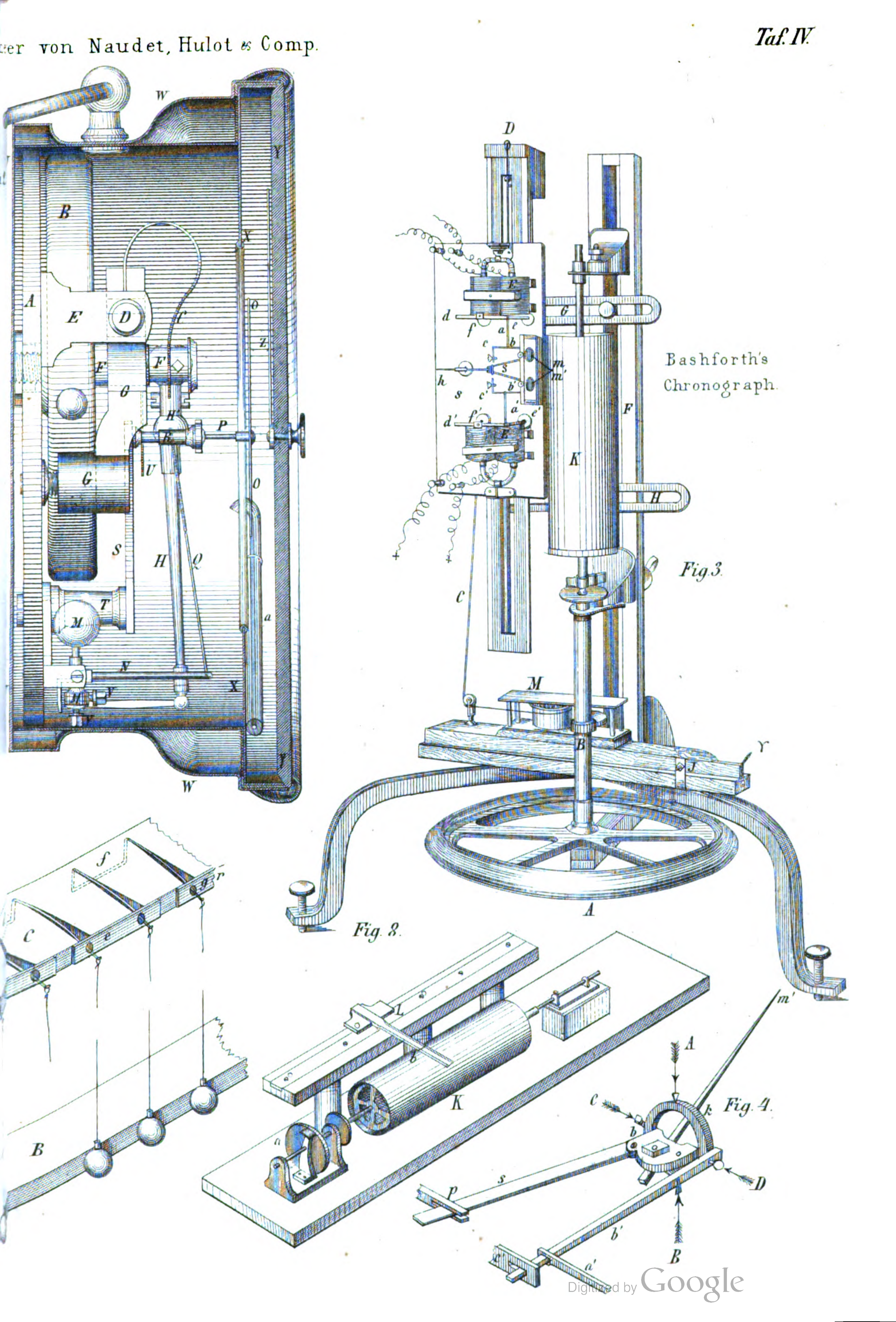

Fig. 1.
z
x
y
y
x
w
v
v
t
t
a
a
a'
a'
a
a
p
p
q
q
u
u
o
o
r
s
s
n
n
b'
l
l
k
i
i'
f
c
c
h
d
e
g
g
5
10
15
20
25

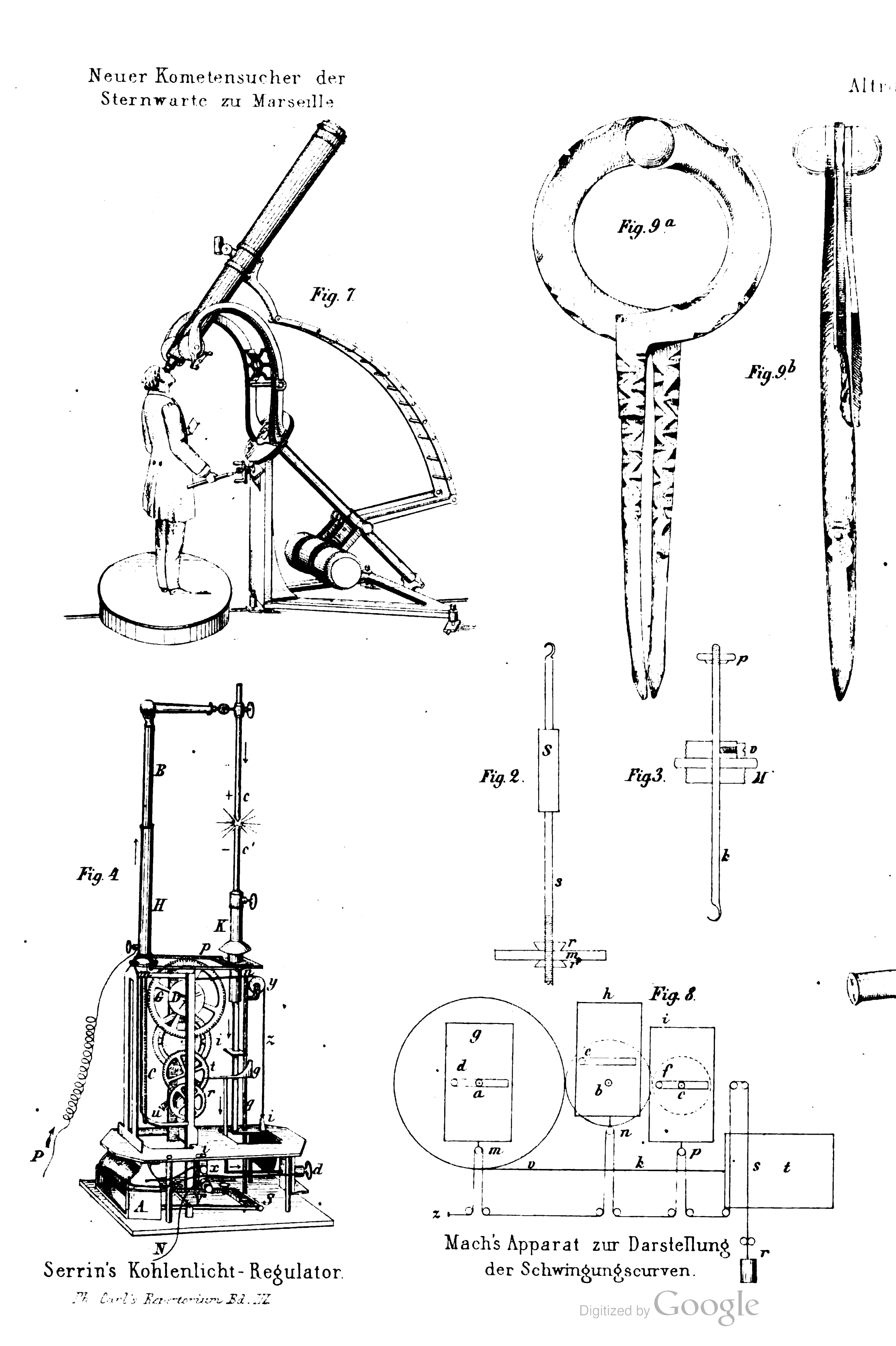
Fig. 2.

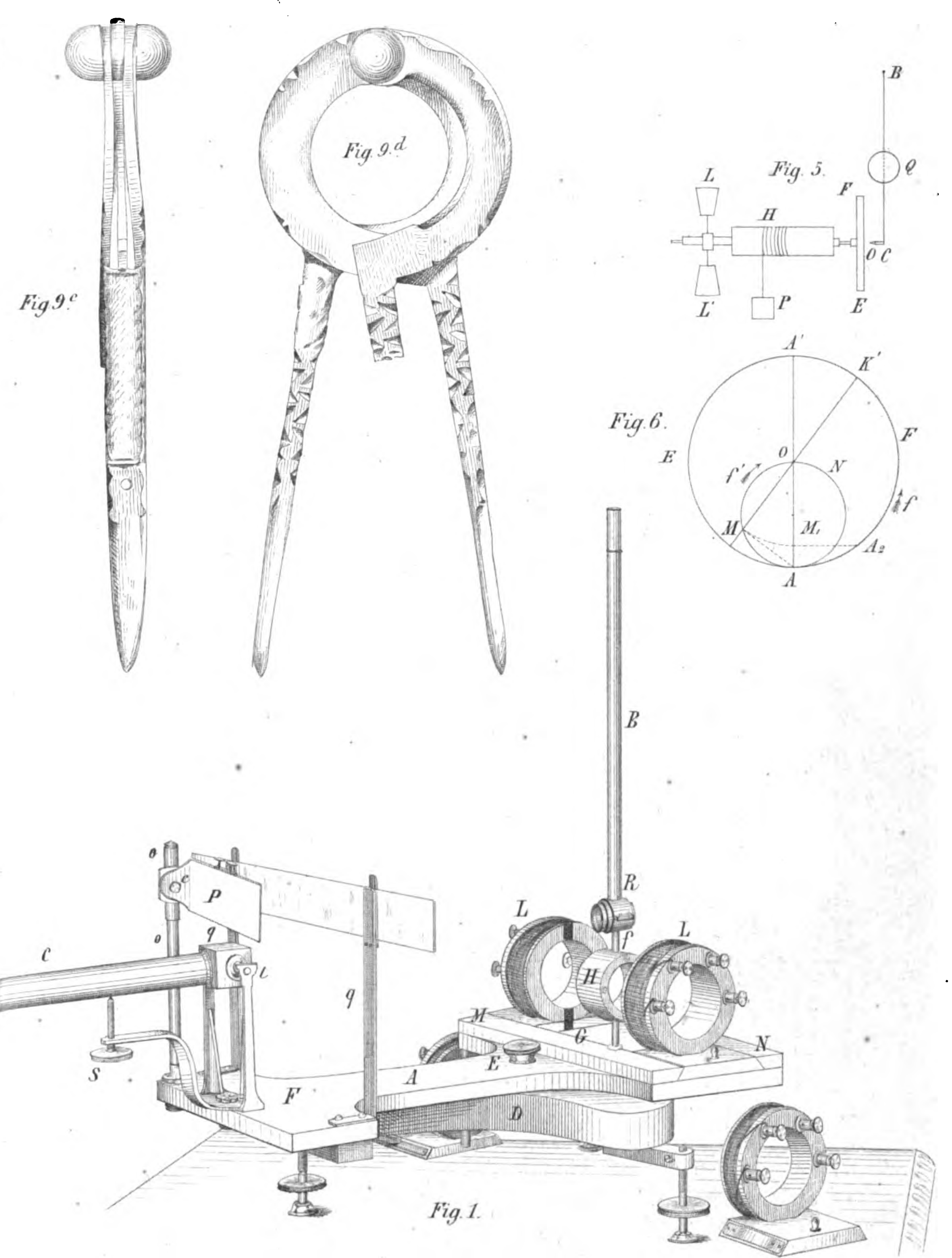
Fig. 3.

c
a f d d a
b e
b
g g
h

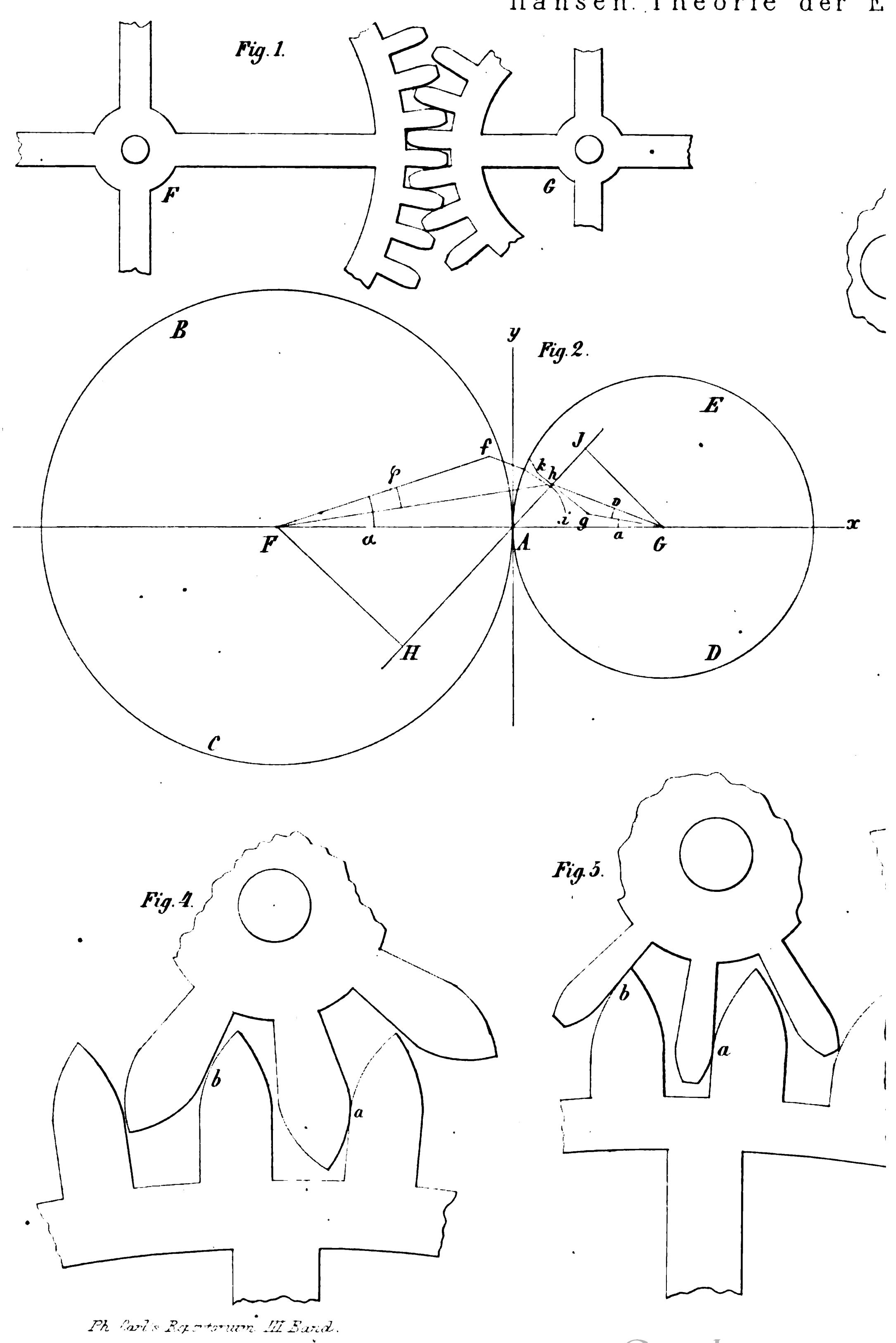

Fig. 1.
I
II
C
D
D
E
E
F
G
B
B
P
H
S
A
A
L
M
K
J
V
Fig. 2.
Fig. 7.
Fig. 6.
Fig. 5.
A
C


Bashforth's Chronograph.
Fig. 3.
Fig. 8.
Fig. 4.


Neuer Kometensucher der
Sternwarte zu Marseille
Altr
Fig. 7
Fig. 9 a
Fig. 9 b
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4
Fig. 8.
Serrin's Kohlenlicht-Regulator.
Mach's Apparat zur Darstellung
der Schwingungscurven.
Ph. Carl's Repertorium Bd. III.




Carl's Spiegelgalvanometer.


Fig. 1.
F
G
Fig. 2.
y
x
B
C
E
D
f
φ
F
α
A
J
k
h
i
g
a
G
H
Fig. 4.
b
a
Fig. 5.
b
a

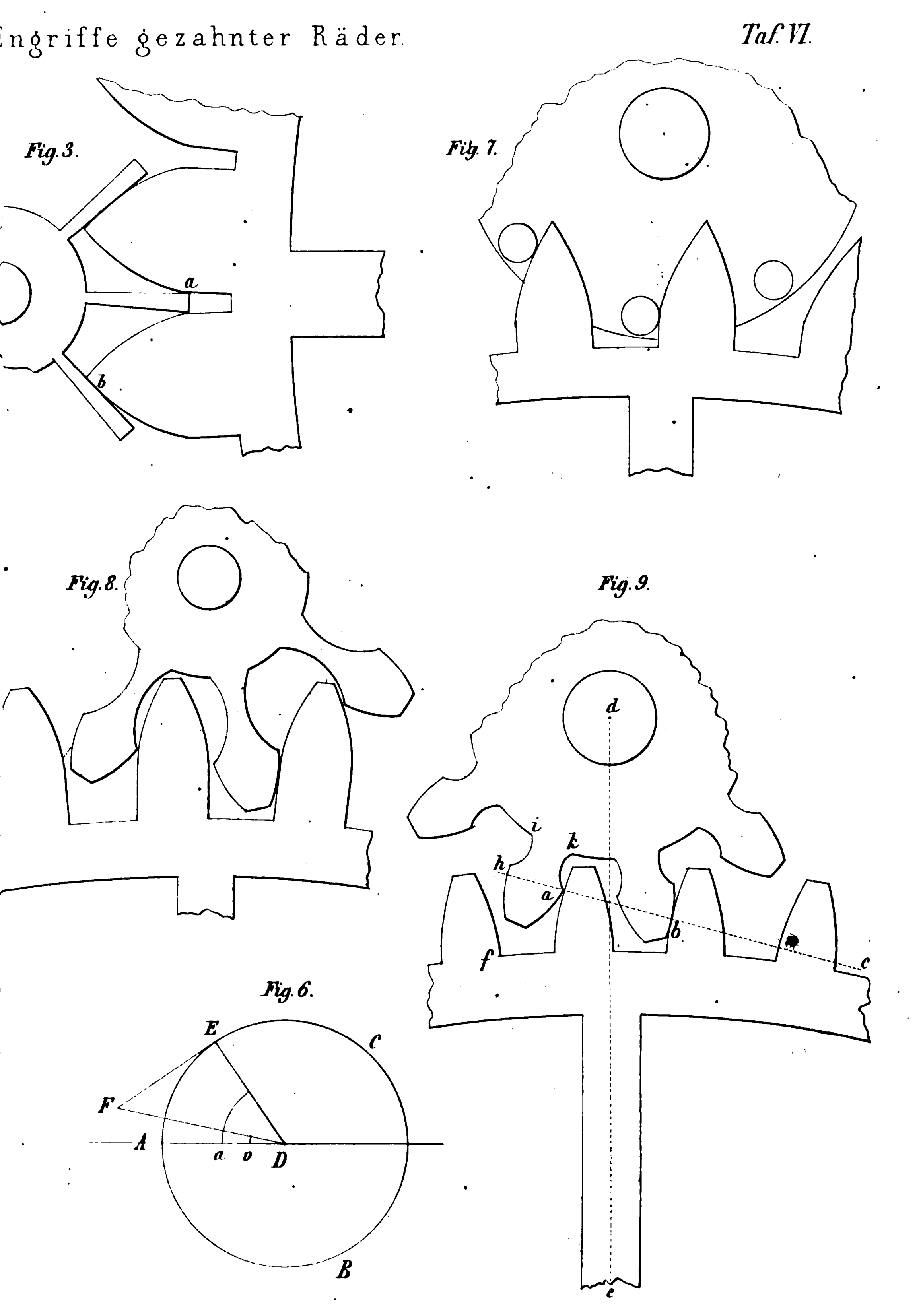
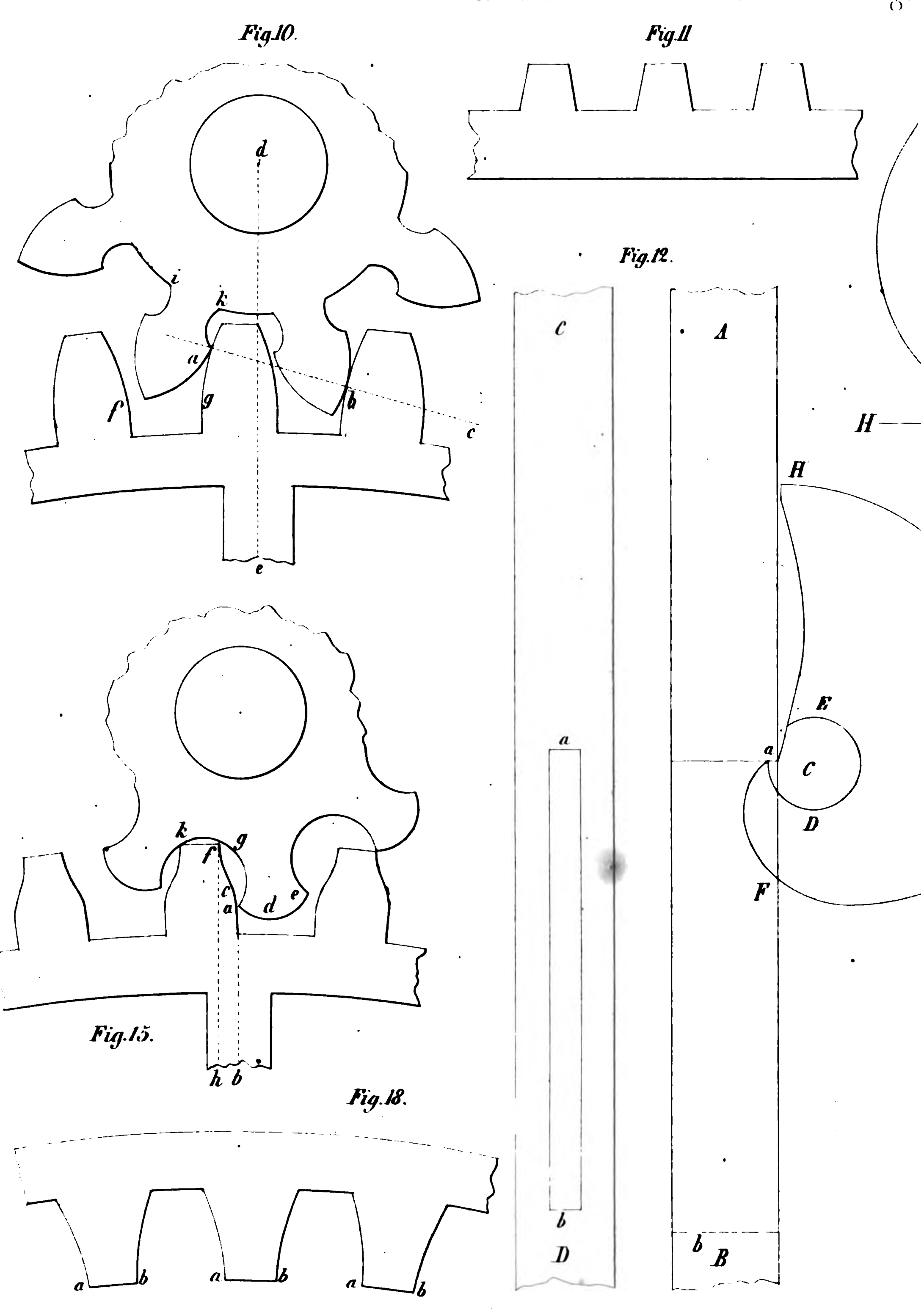
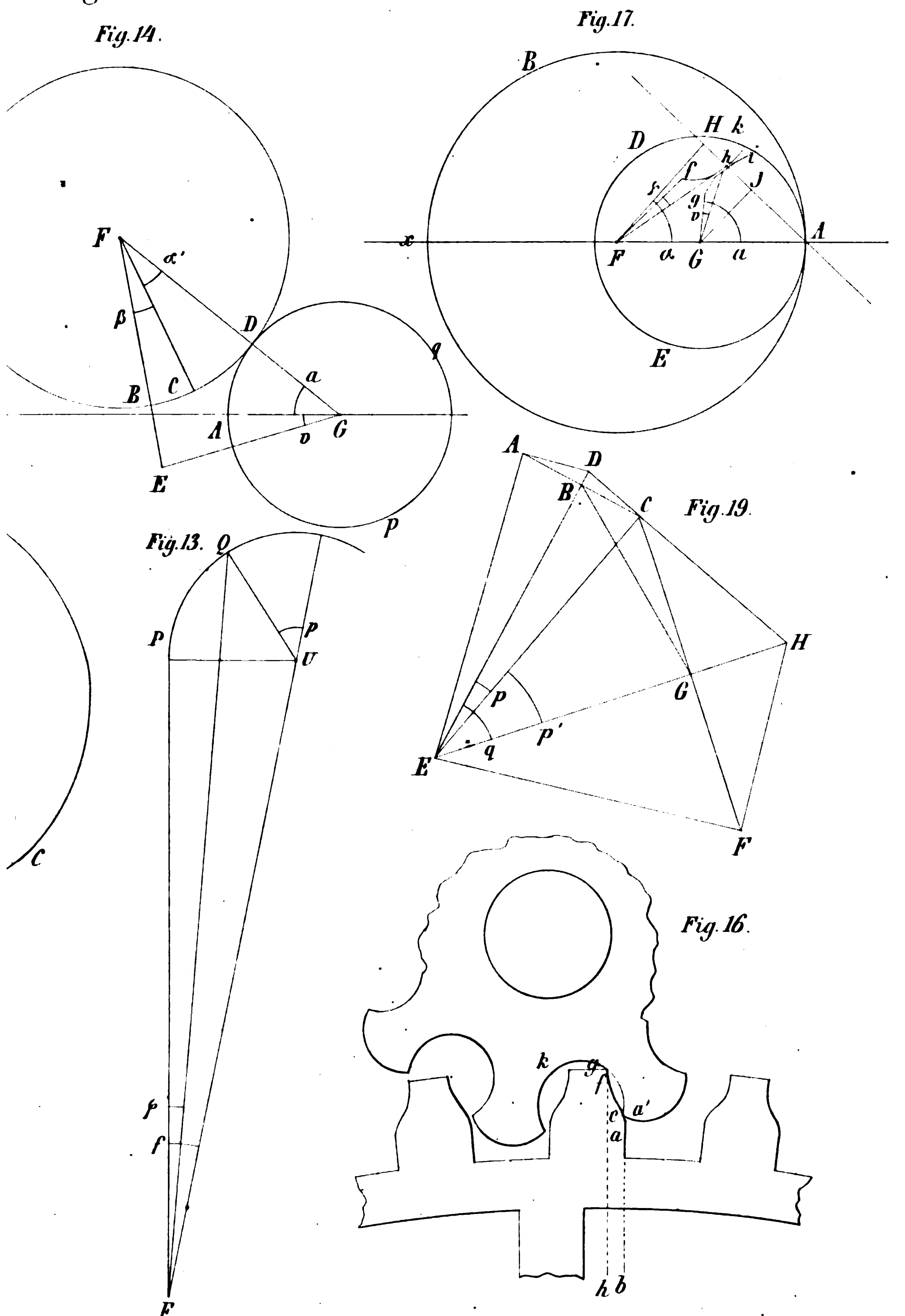


Fig. 3.
a
b
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
d
i
k
h
a
b
f
c
e
Fig. 6.
E
C
F
A
a
v
D
B


Fig.10.
d
i
k
a
g
h
f
c
e
Fig.11.
Fig.12.
C
A
a
b
D
b
B
H
H
E
a
C
D
F
Fig.15.
k
g
f
c
a
d
e
h
b
Fig.18.
a
b
a
b
a
b


Fig. 14.
Fig. 17.
Fig. 13.
Fig. 19.
Fig. 16.

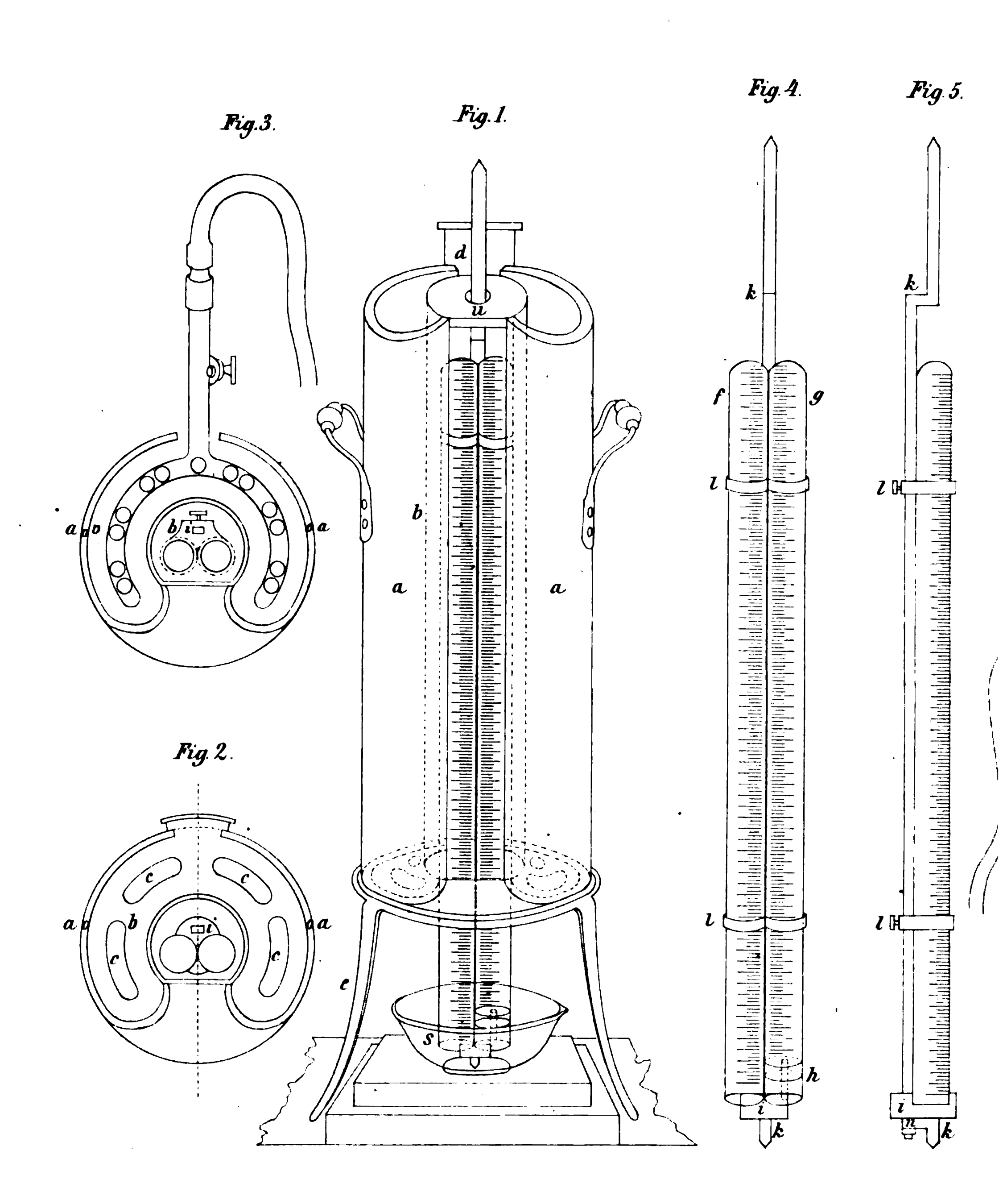
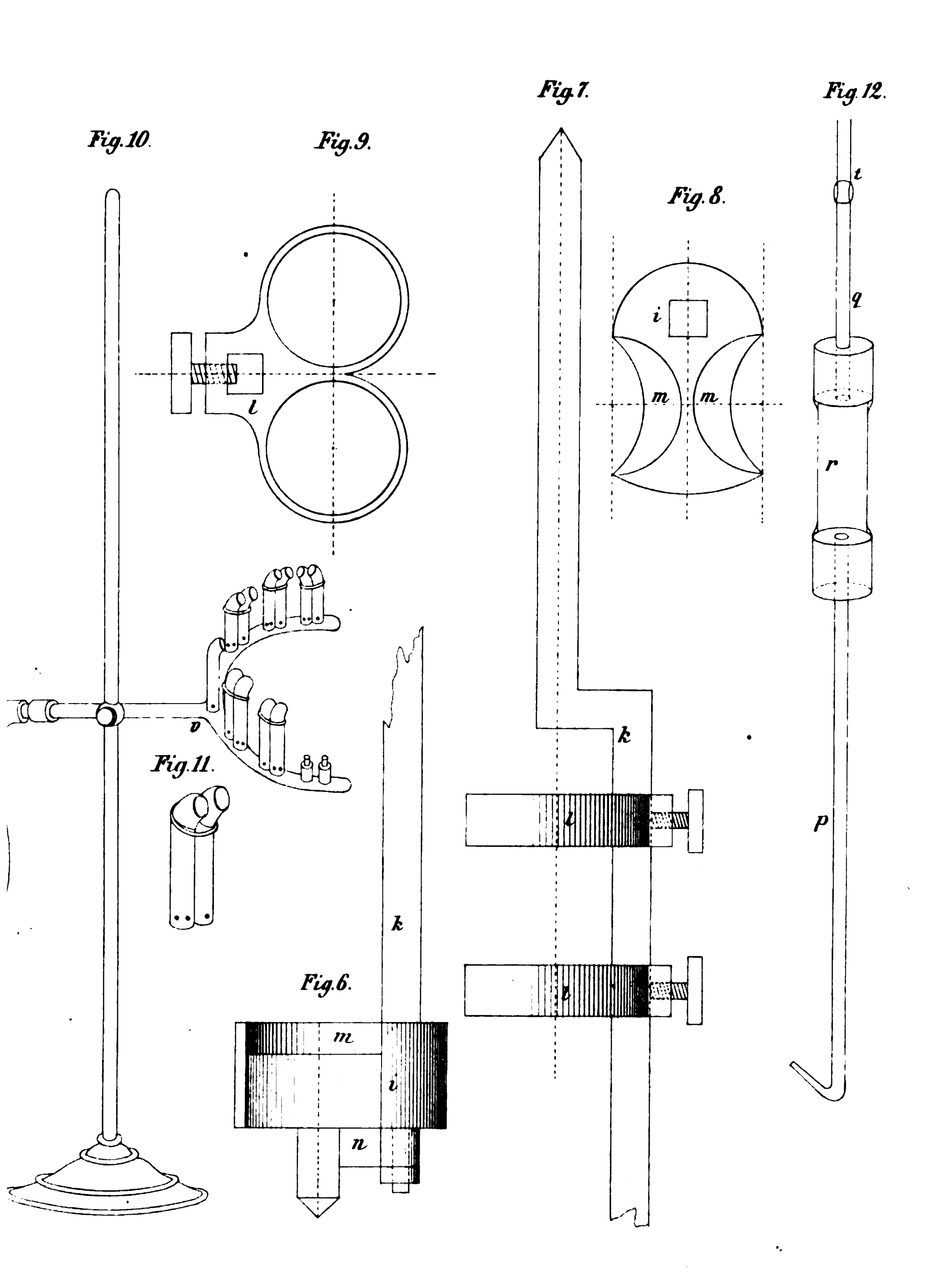


Fig. 3.
Fig. 1.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 2.
a
b
c
d
e
f
g
h
i
k
l
n
s
u


Fig. 10.
Fig. 9.
Fig. 7.
Fig. 12.
Fig. 8.
Fig. 11.
Fig. 6.
i
m
m
l
k
l
l
t
q
r
p
v
m
i
n
k

Wilde's Magnetelectrische Maschine.

Fig. 1.

Fig. 3.

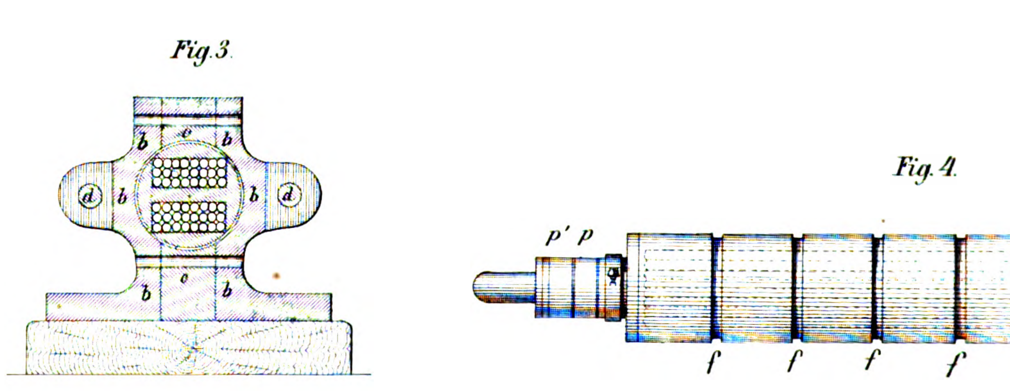


Fig. 4.

Fig. 2.

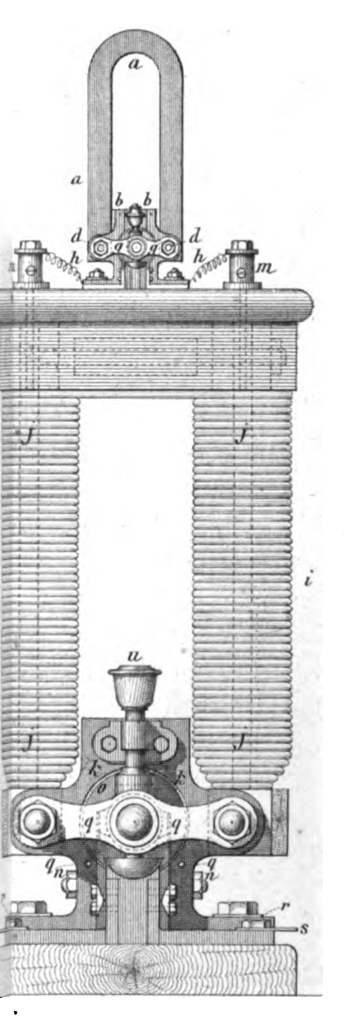
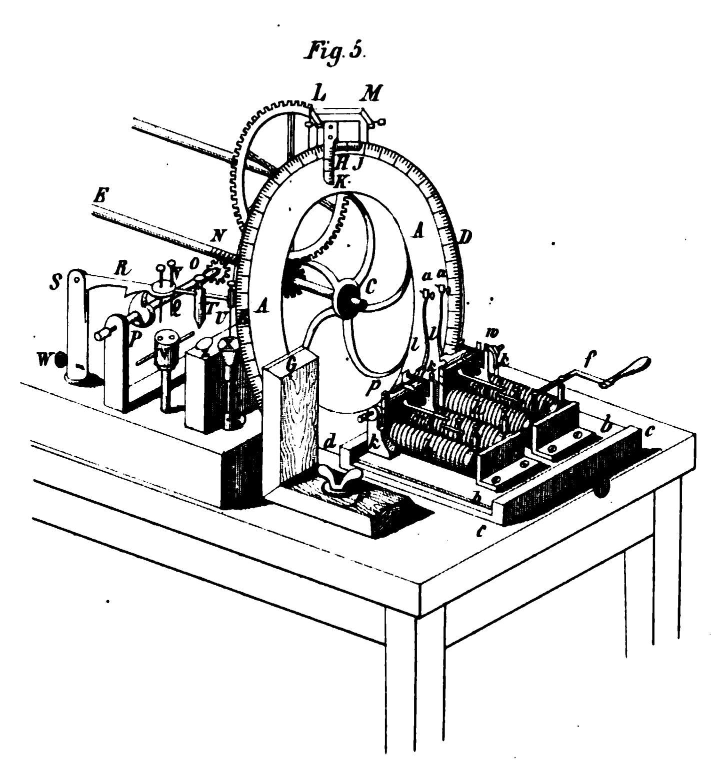


Fig. 5.



Hankel's Apparat zur Messung sehr kleiner Zeiträume.

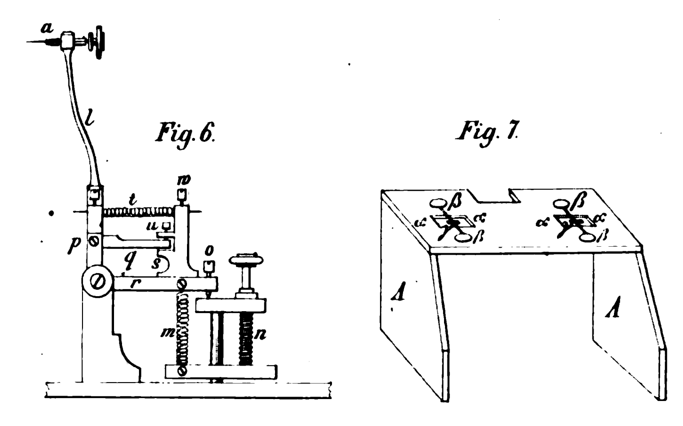
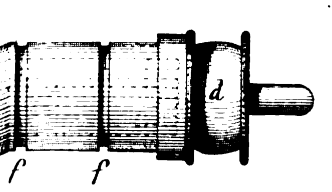
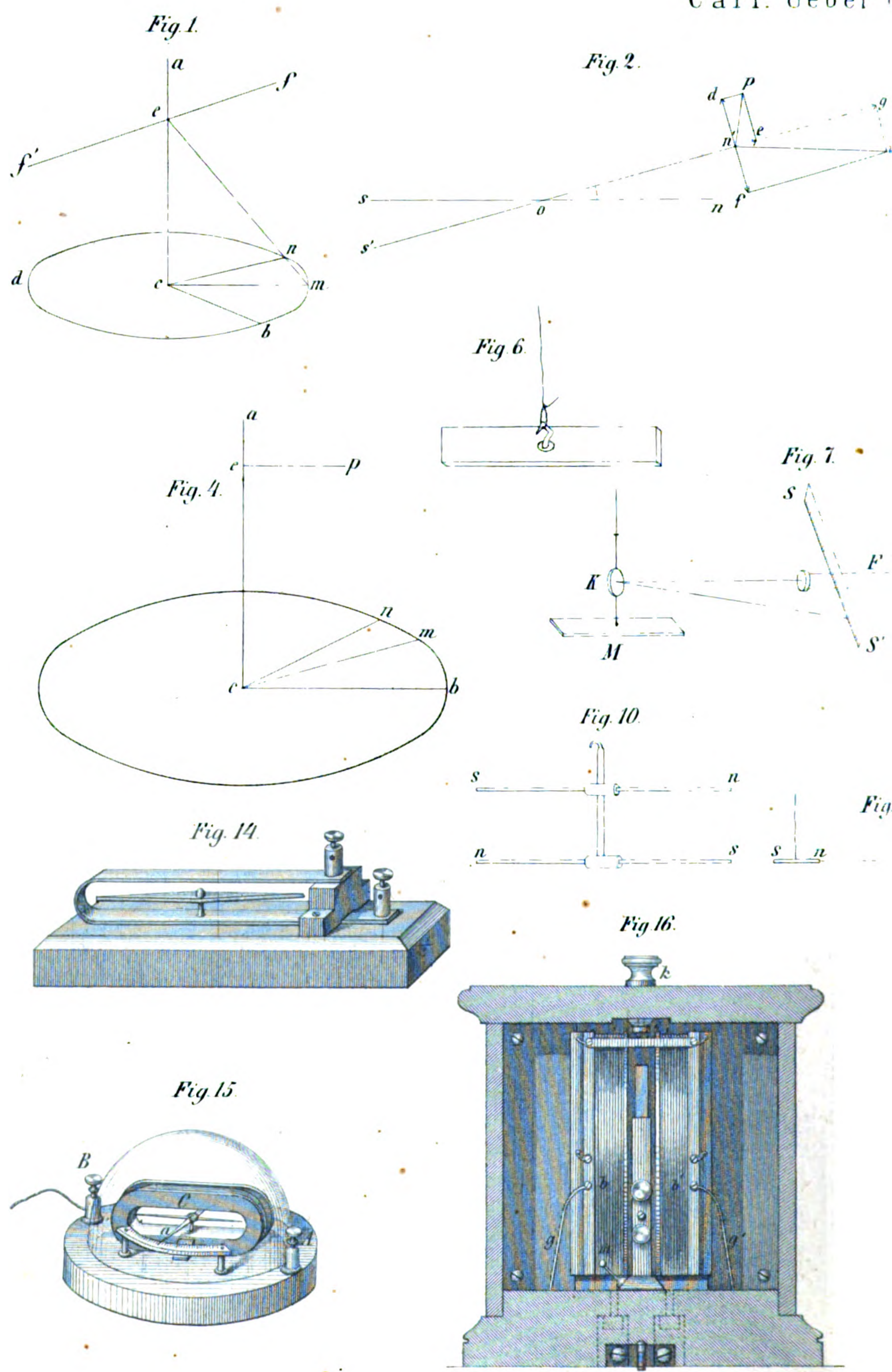
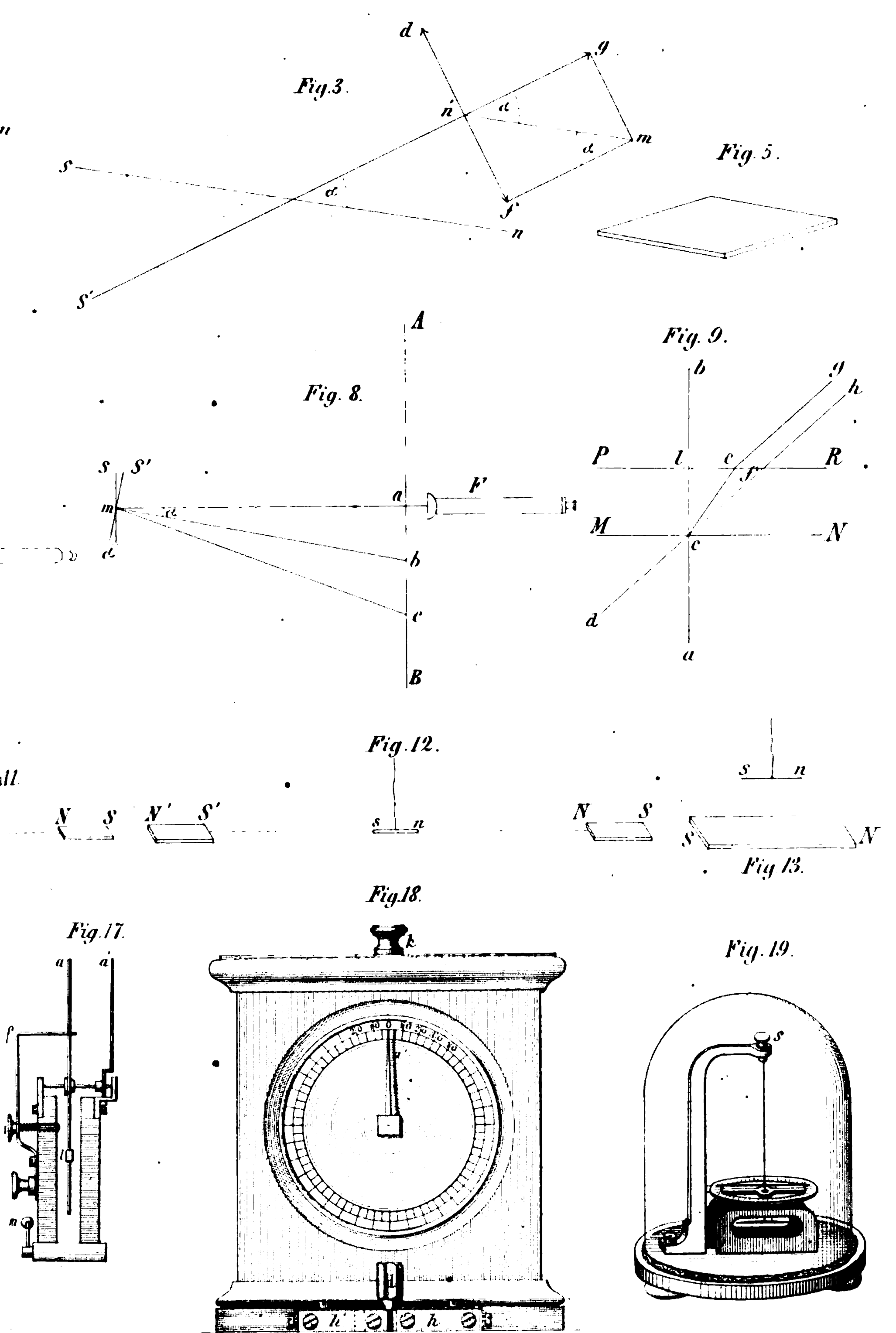


Fig. 6. Fig. 7.




Fig. 1.
a
f
e
f'
n
d
c
m
b
Fig. 2.
d
p
e
n'
s
o
n
f
s'
Fig. 6.
Fig. 4.
a
e
p
n
m
c
b
K
M
Fig. 7.
S
F
S'
Fig. 10.
s
n
n
s
s
n
Fig. 14.
Fig. 16.
k
b
b'
g
g'
m
n
Fig. 15.
B
C
a
A


Fig. 3.
Fig. 5.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.

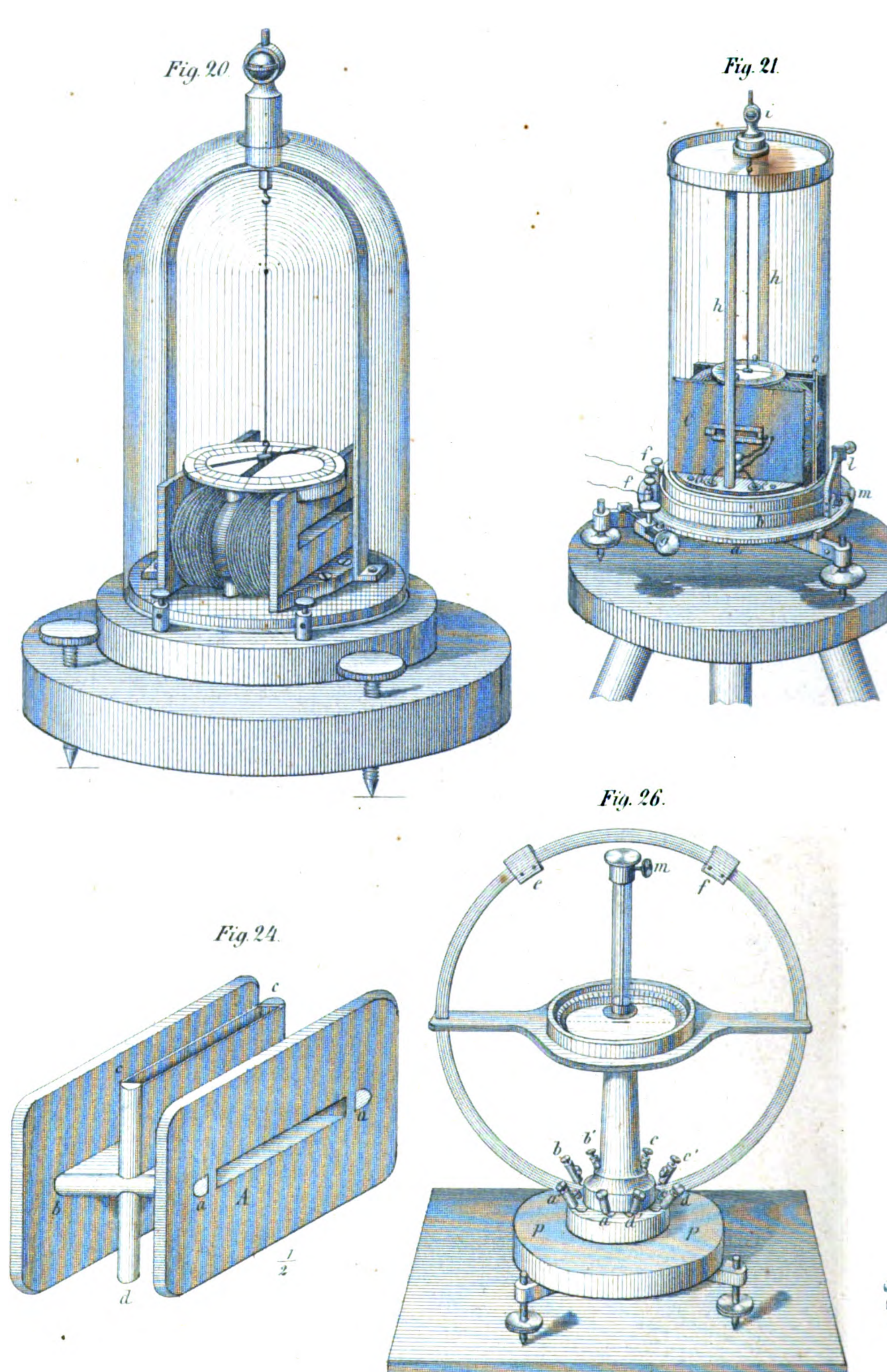

Fig. 20.
Fig. 21.
i
h
h
f
f
l
m
b
a
Fig. 26.
m
e
f
b
b'
c
c'
a'
d
a
d'
p
p
Fig. 24.
c
c
a
a
A
b
d
1/2

Fig. 22.

Fig. 25.

o

a

c

b

d

Fig 27

a

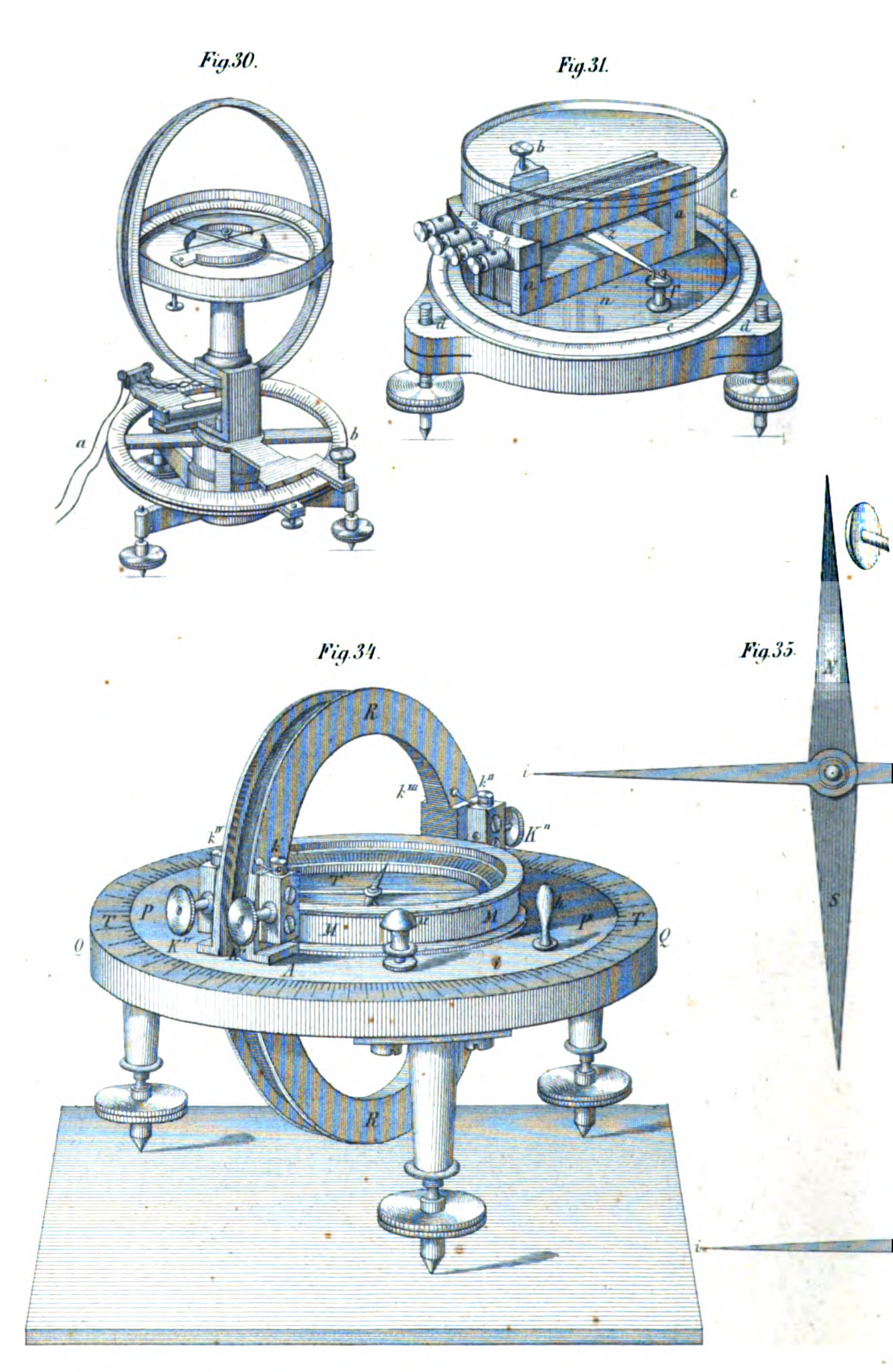
Fig. 28.

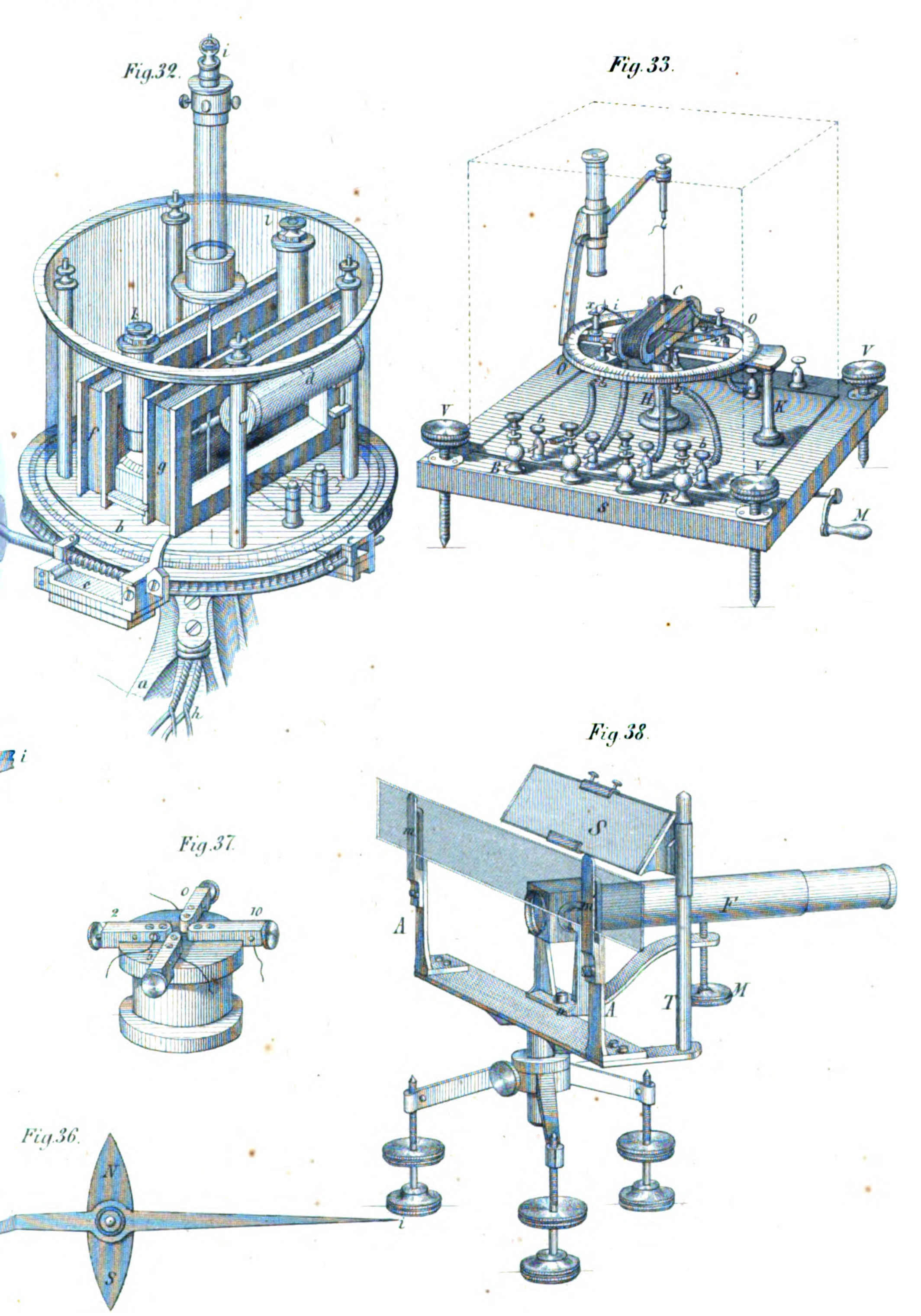
c

m

b

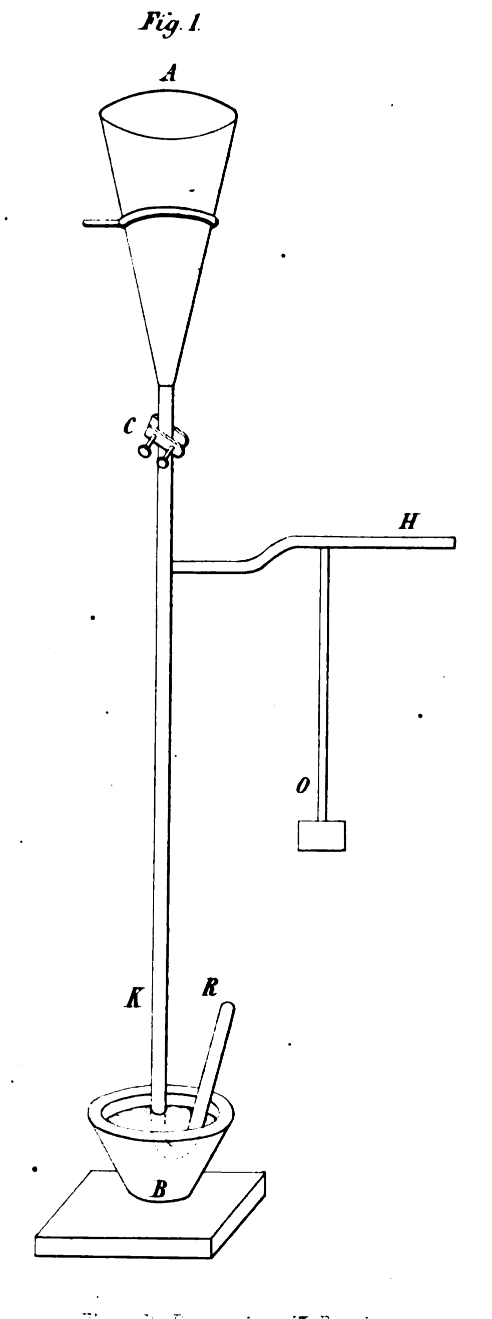
Fig 29.


Fig.30.
a
b
Fig.31.
b
a
e
n
d
d
Fig.34.
R
R
P
P
T
T
O
Q
M
M
Fig.35.
N
S
i
i


Fig. 32.
Fig. 33.
Fig. 38.
Fig. 37.
Fig. 36.

Sprengel's Quecksilber-Luftpumpe.

*Fig. 1.*




Le Bon's Quecksilber-Luft[...]

*Fig. 2.*

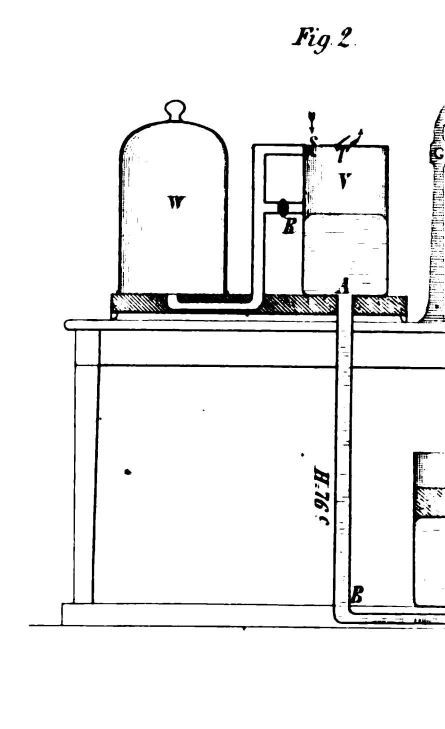
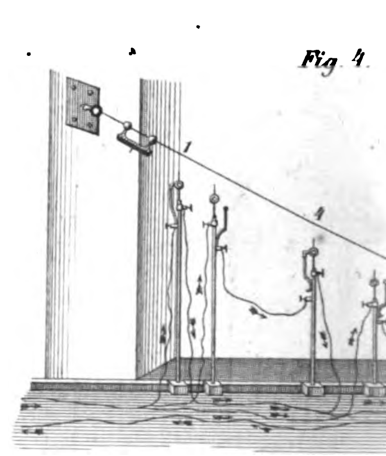
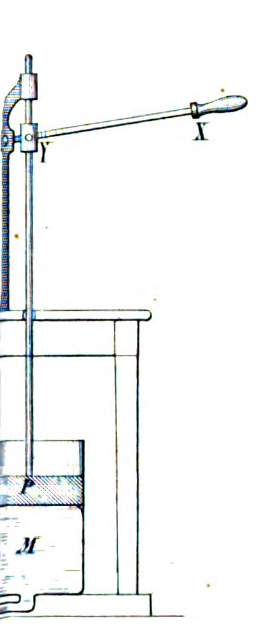



*Fig. 4.*



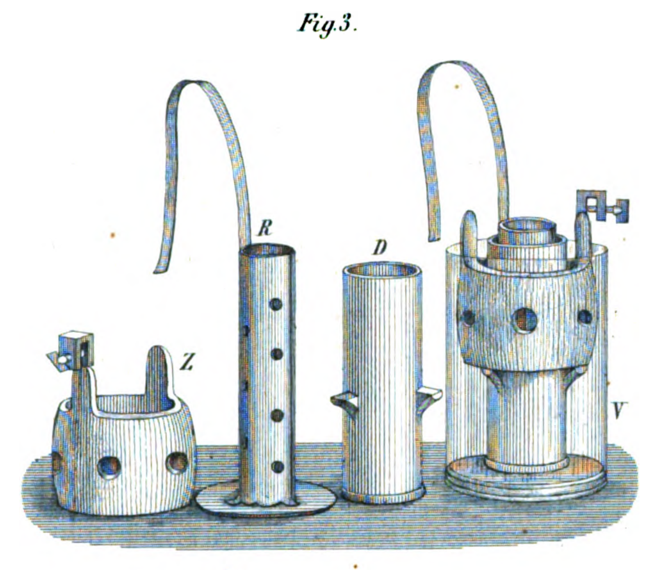
Candido's schief[...]

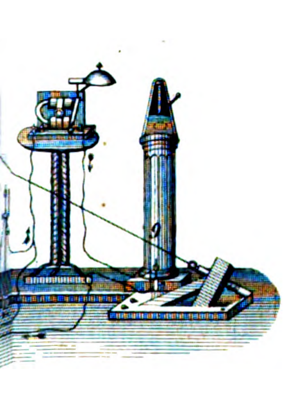
...pumpe.




Candido's Batterie

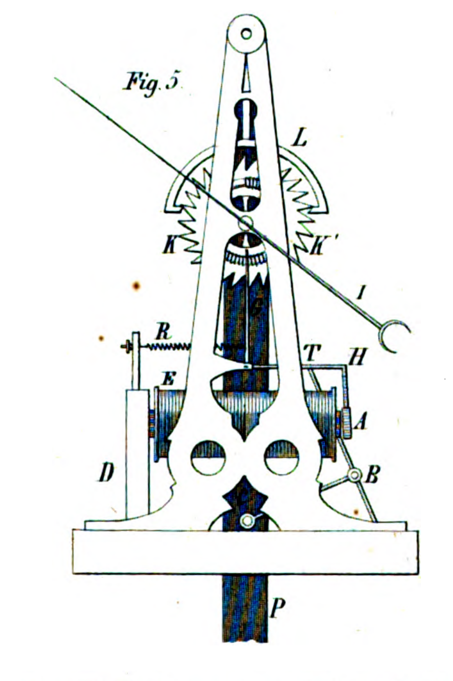
Fig. 3.



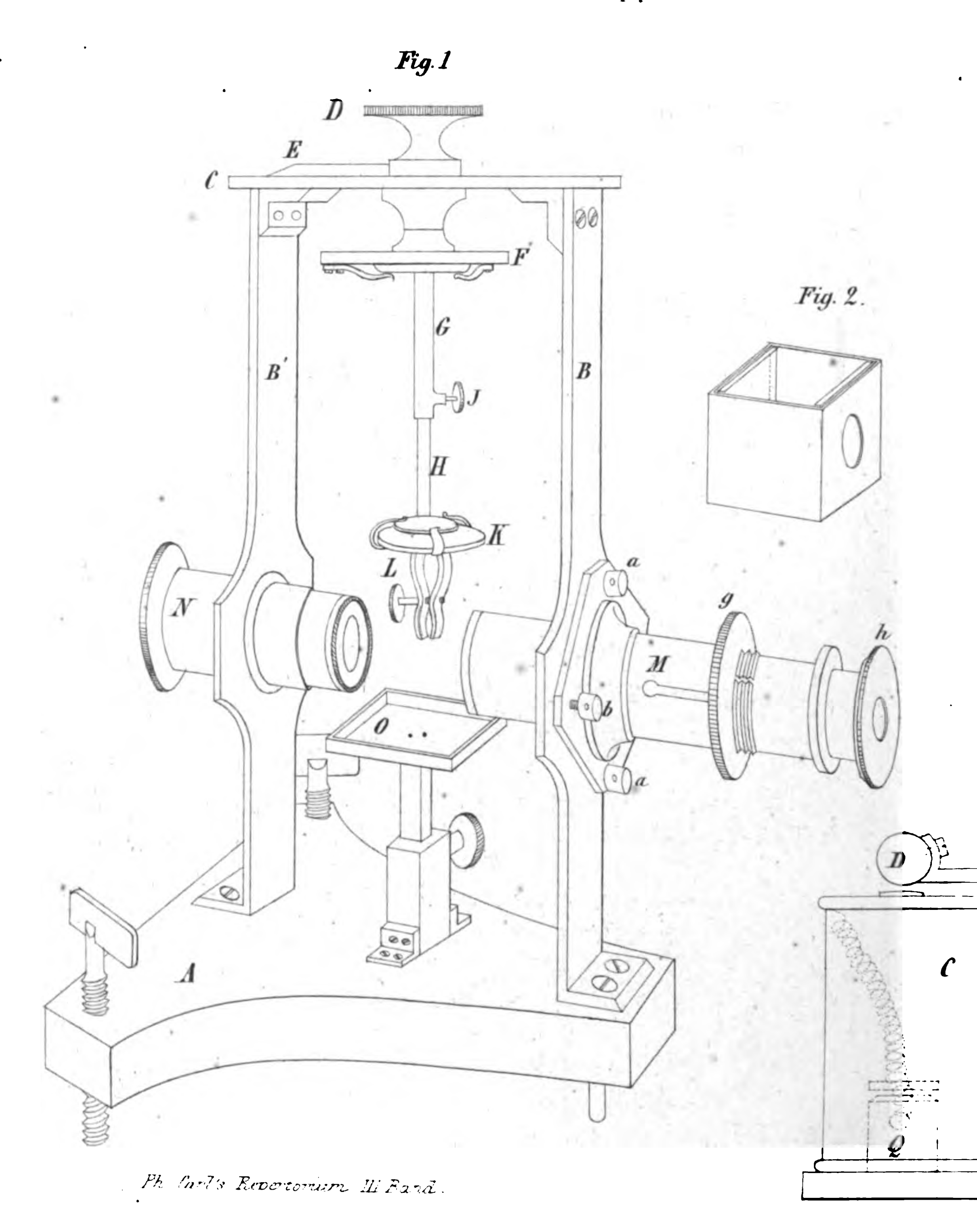
...Ebene.

Fig. 5.

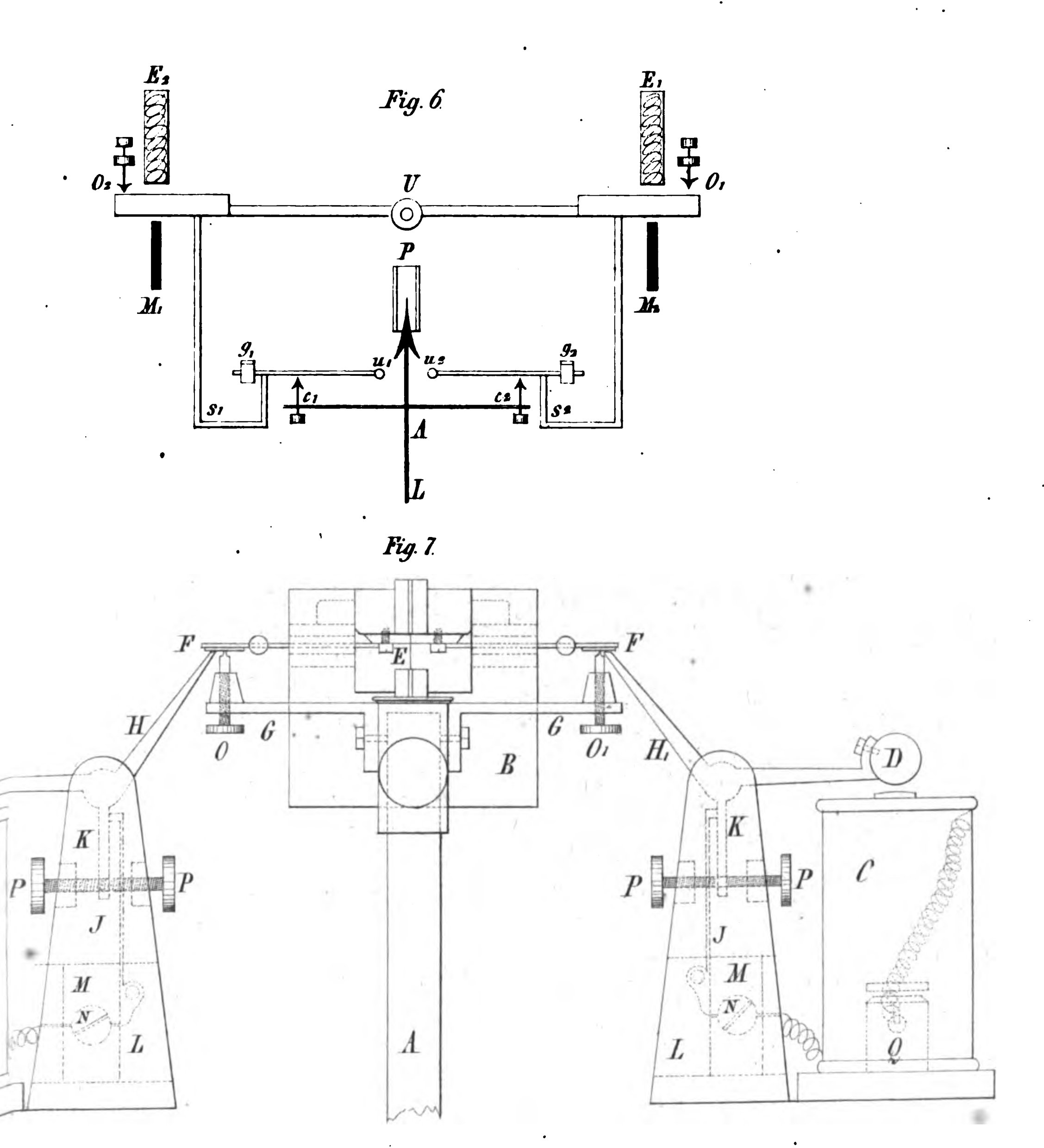



Candido's electromagnetisches Pendel.

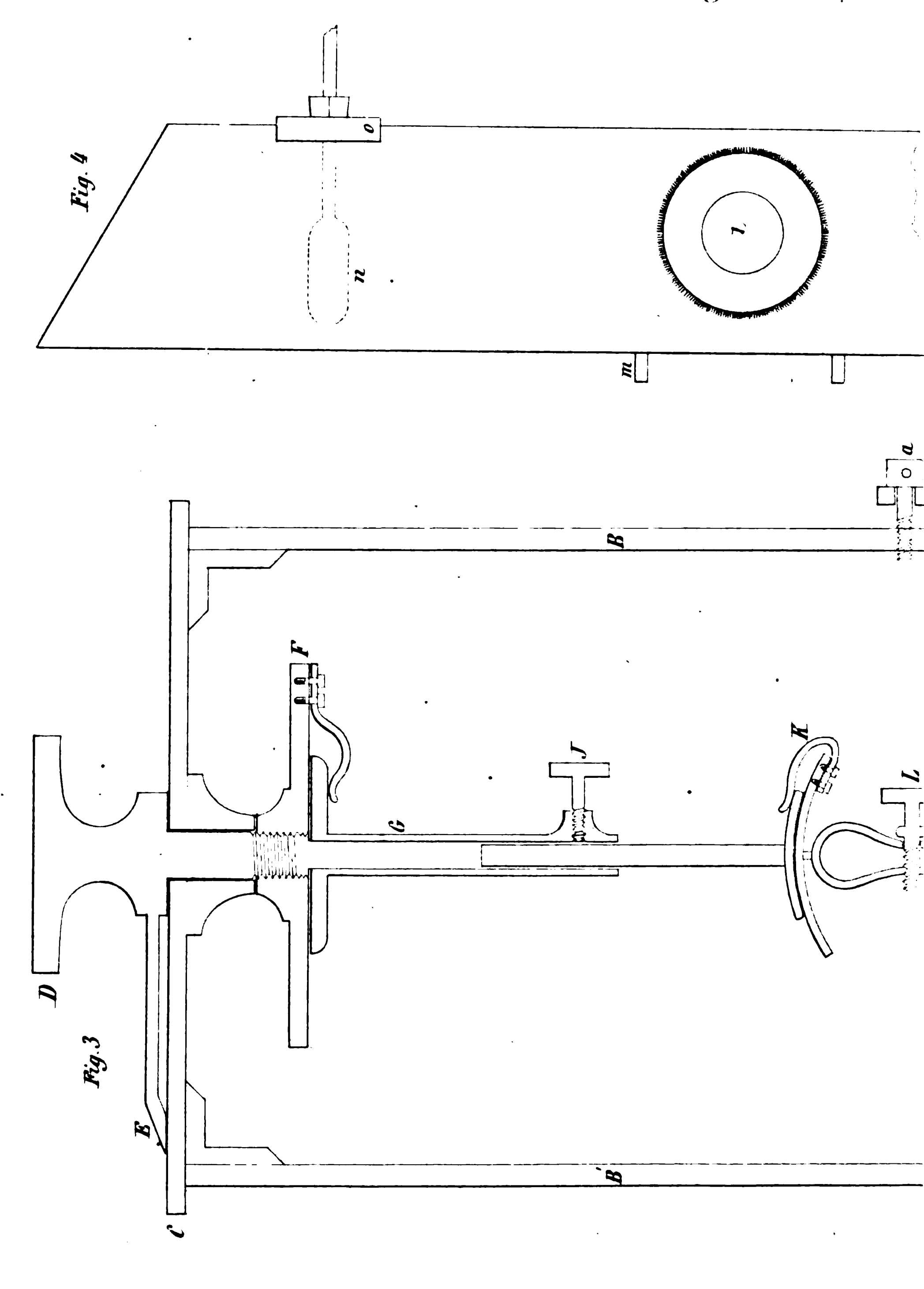
Lang. Verbesserter Axenwinkel Apparat.

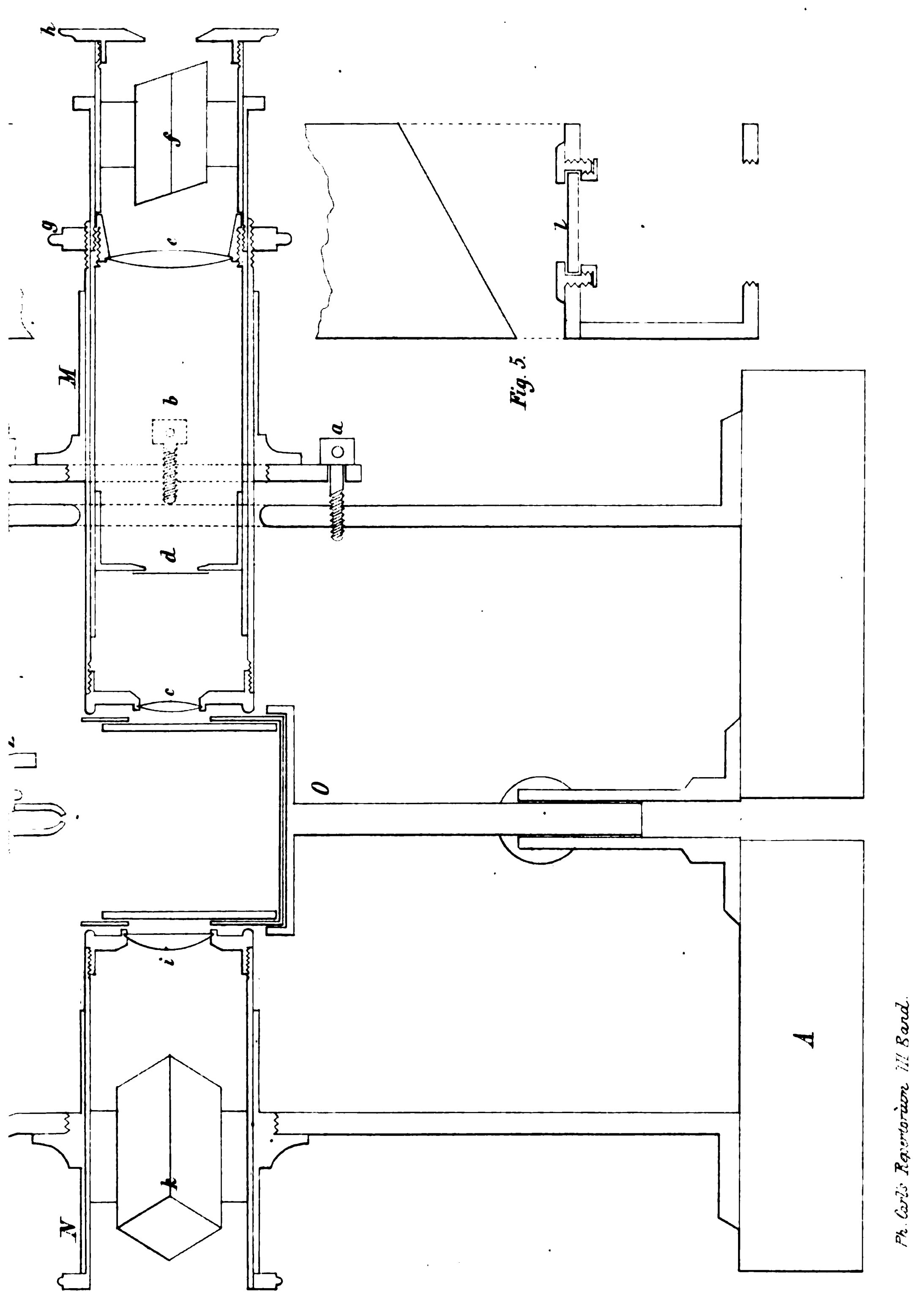


Tiede's Electromagnetisches Echappement.

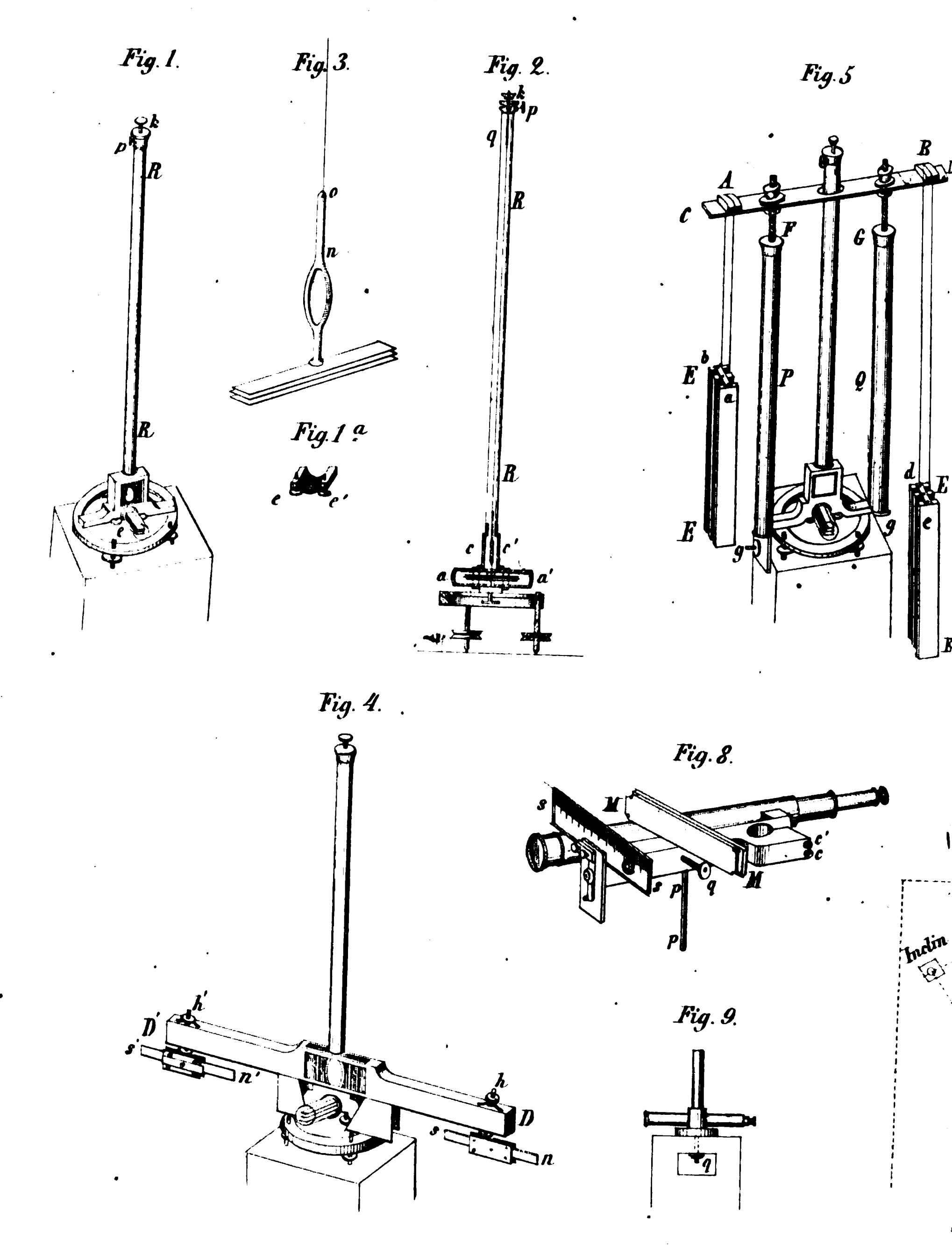


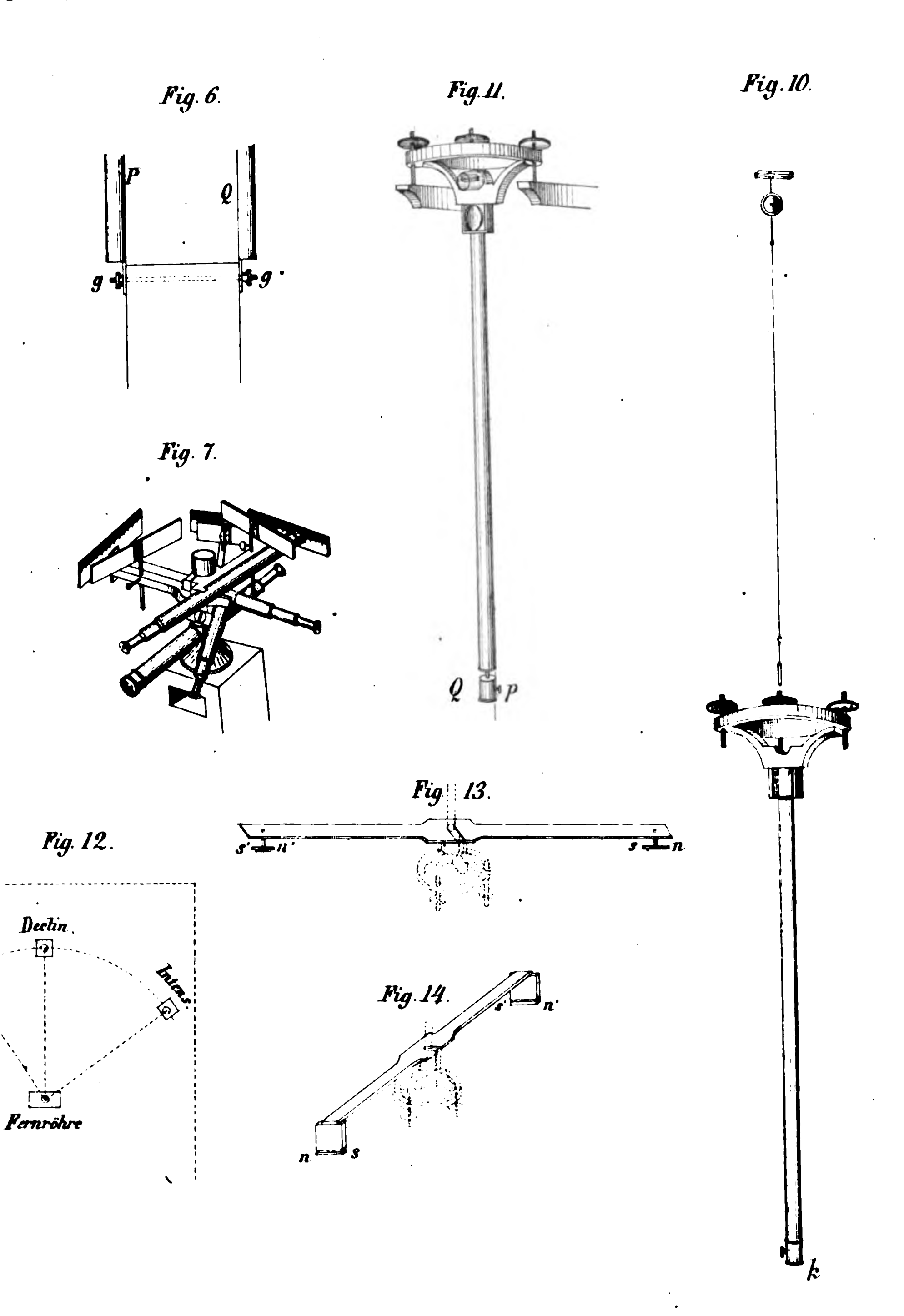

Knoblich's Echappement.


Fig. 4
o
n
1.
m
a
B
F
J
G
K
L
D
Fig. 3
E
B'
C

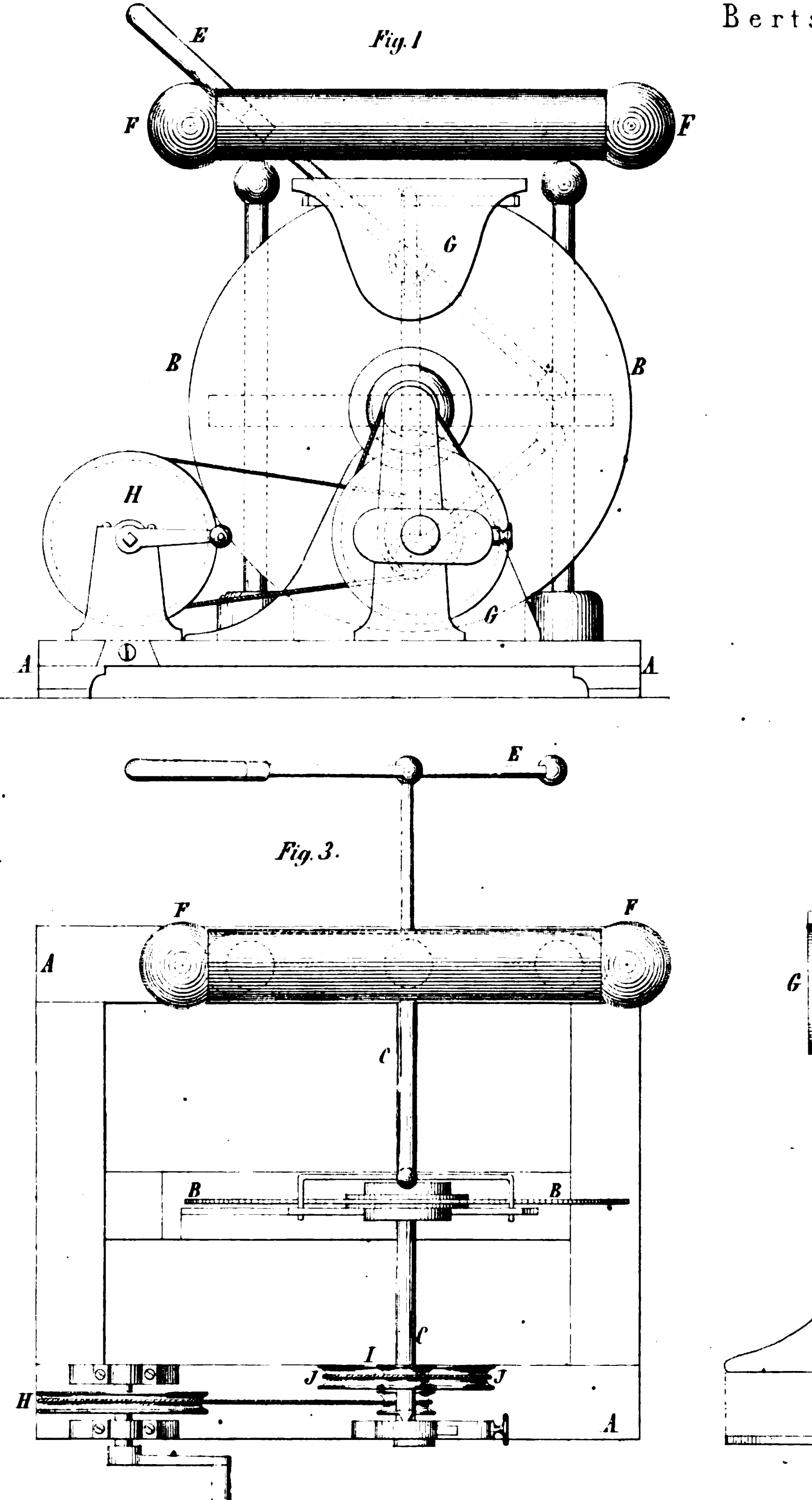

h
f
g
c
M
b
a
d
c
O
i
k
N
A
l
Fig. 5.

Lamont's Variat



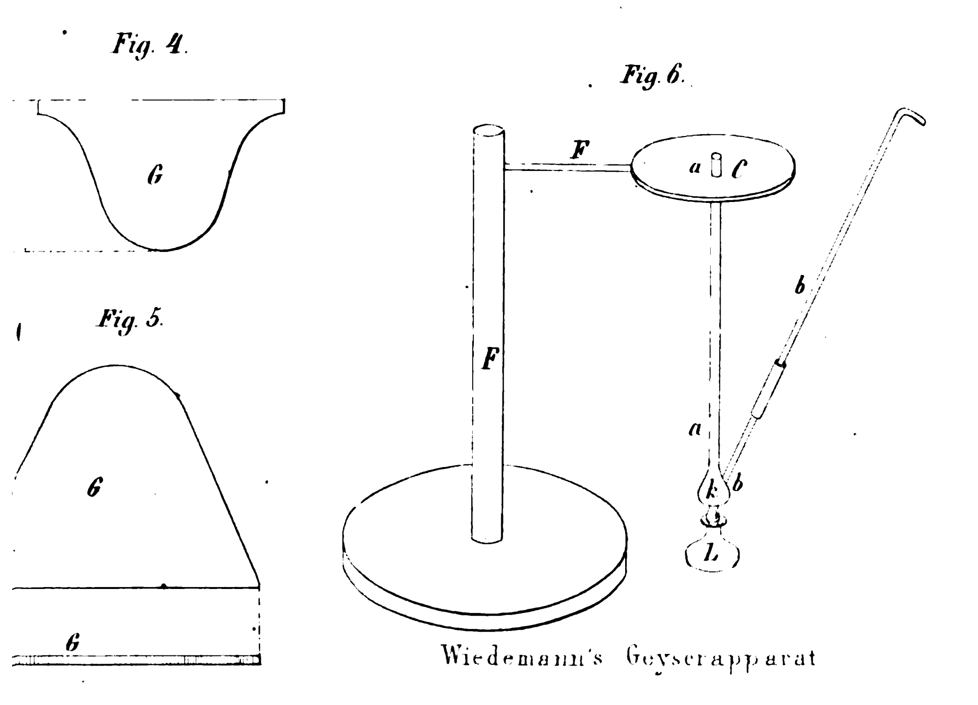

Fig. 6.
P
Q
g
g'
Fig. 7.
Fig. 11.
Q
p
Fig. 10.
k
Fig. 13.
s'
n'
s
n
Fig. 12.
Declin.
Intens.
Fernröhre
Fig. 14.
s'
n'
n
s

Bertsc

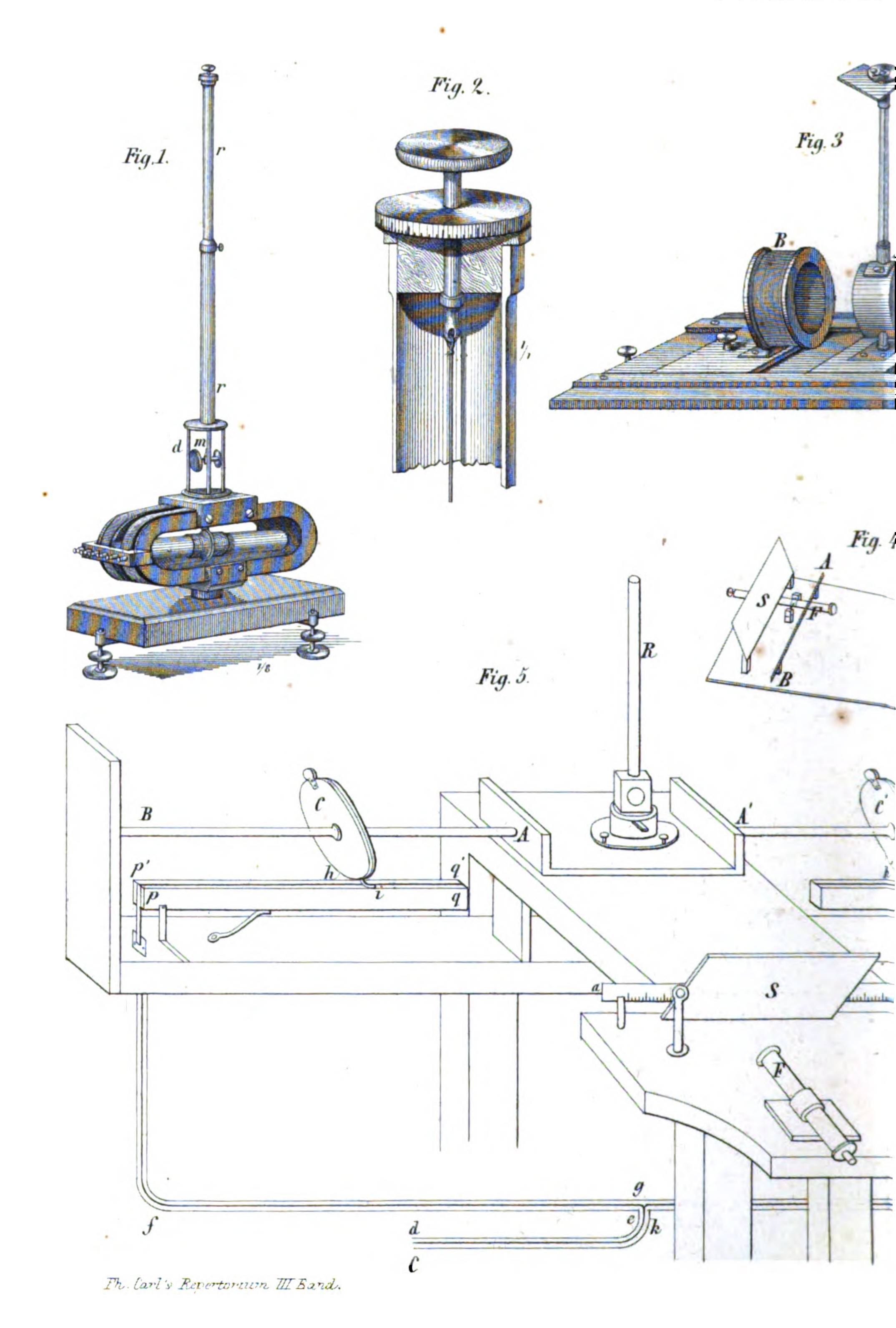



Ph. Carl's Repertorium III Band.

Fig. 2.




Wiedemann's Geyserapparat


Fig. 1.
r
r
d
m
1/8
Fig. 2.
1/1
Fig. 3
B
Fig. 4
A
S
F
B
Fig. 5.
R
B
C
A
A'
C'
p'
h
q'
p
i
q
a
S
F
g
f
d
e
k
C

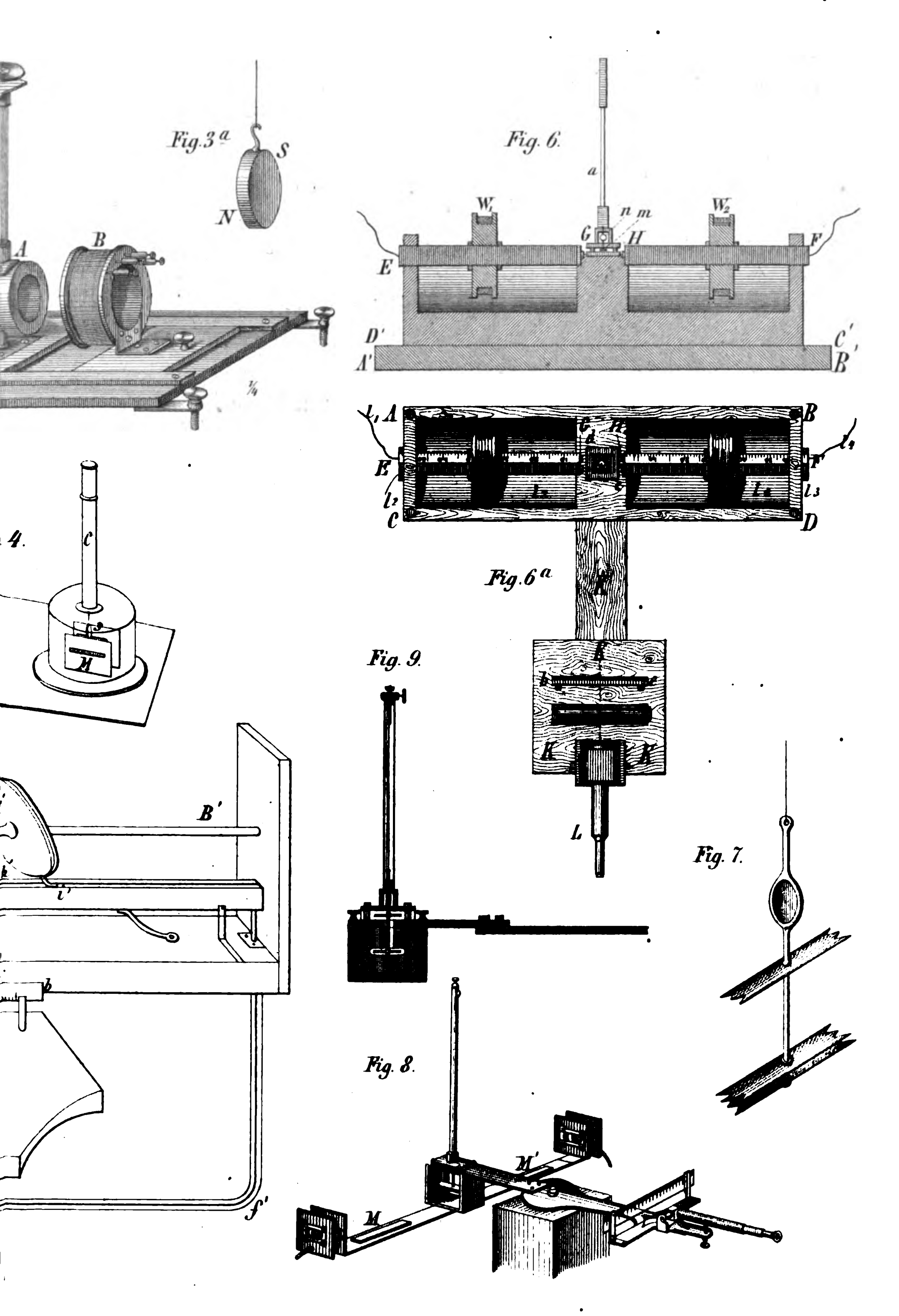


Fig. 3a
S
N
A
B
Fig. 6.
a
W1
W2
n m
G
H
E
F
D'
C'
A'
B'
Fig. 6a
A
B
E
F
C
D
L
K
Fig. 9.
Fig. 7.
Fig. 8.
M
M'
4.
C
B'
i'
b
f'

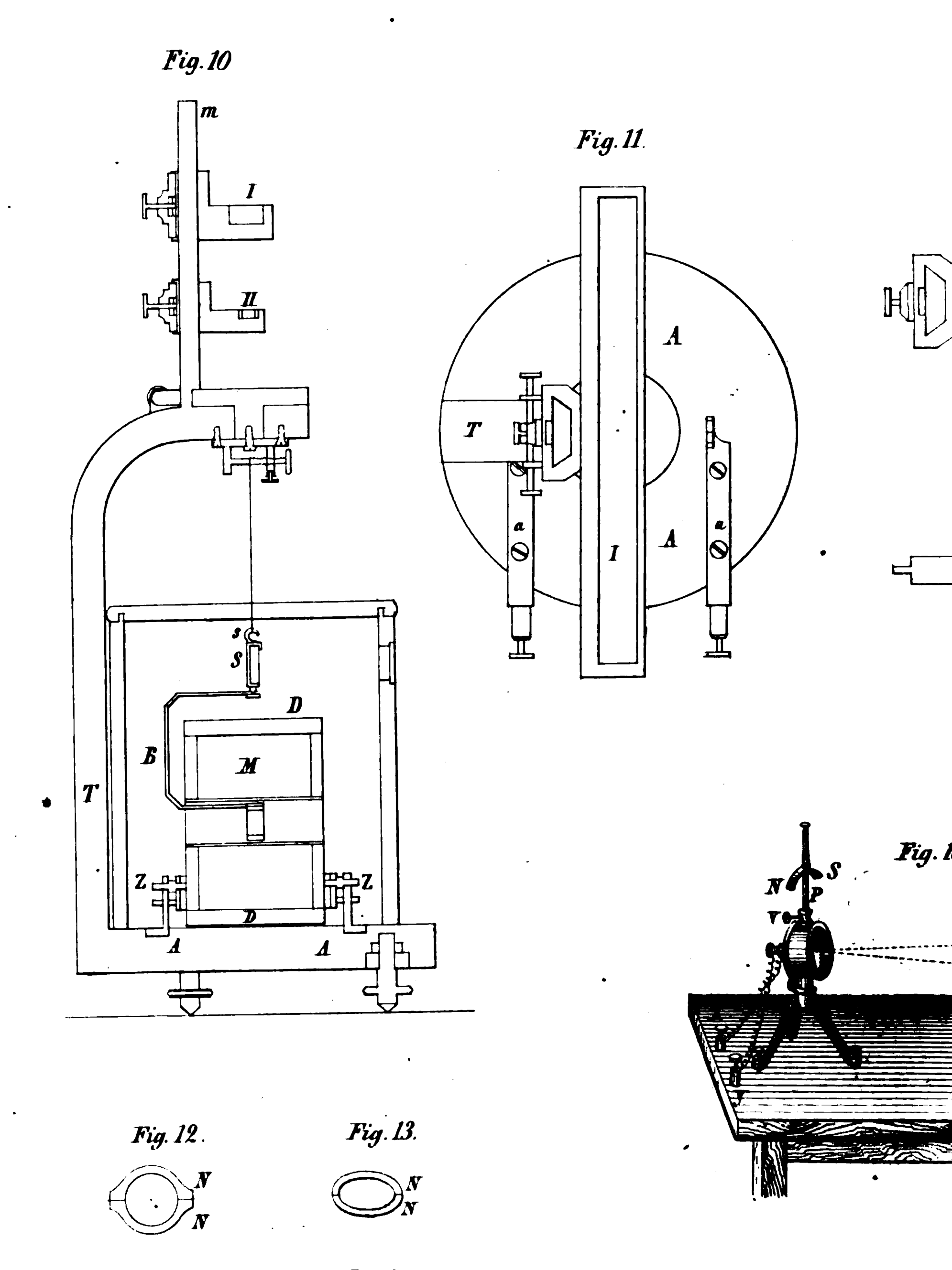


Fig. 10
m
I
II
s
S
D
B
M
T
Z
Z
D
A
A
Fig. 11.
A
T
a
a
A
I
Fig. 1
N
S
P
V
Fig. 12.
N
N
Fig. 13.
N
N

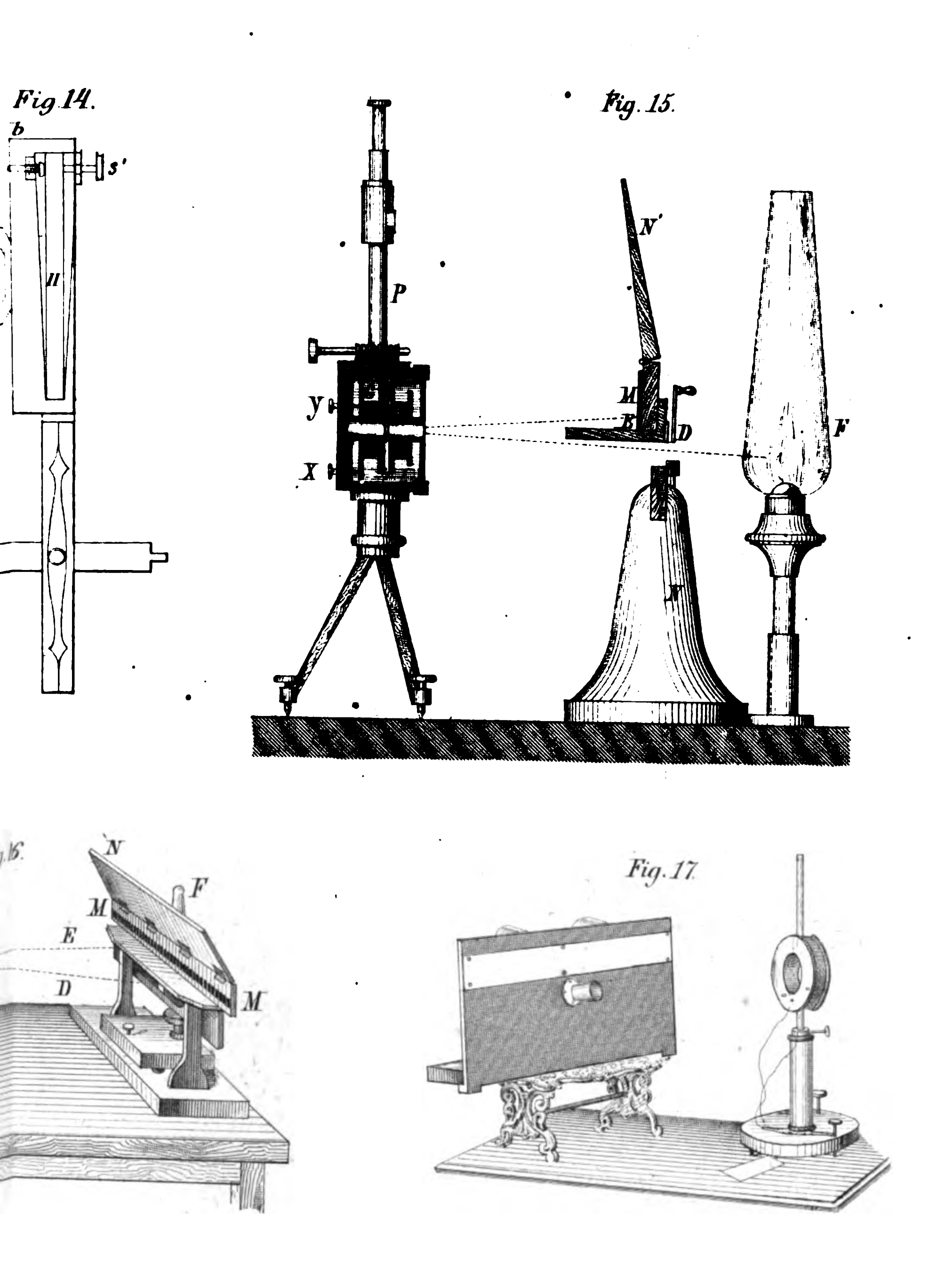
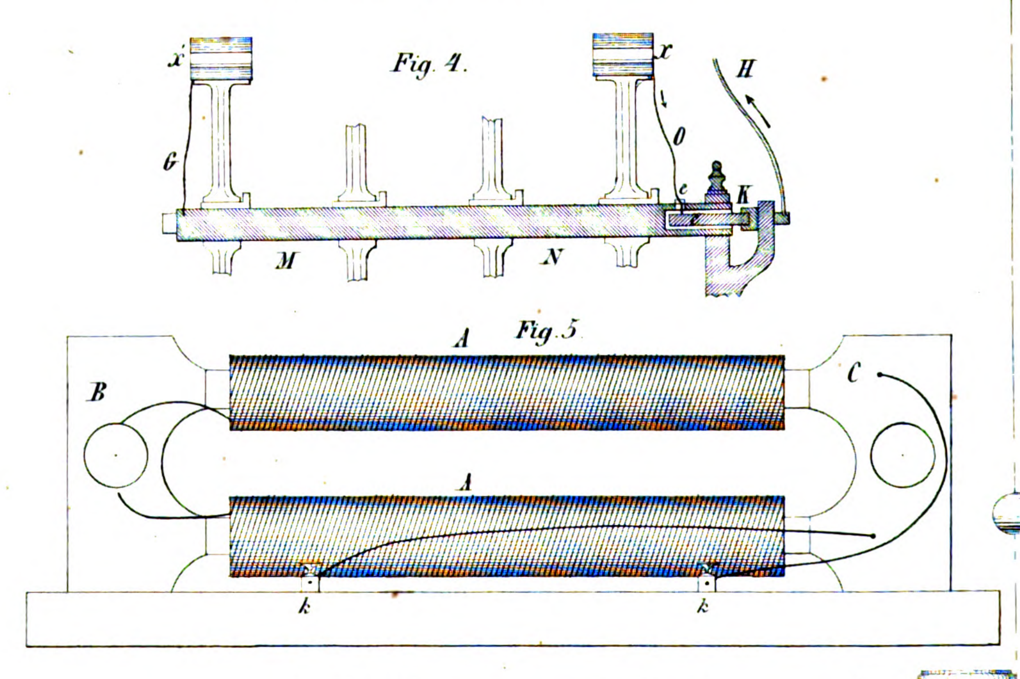

Fig. 14.
b
s'
II
Fig. 15.
P
y
X
N'
M
E
D
F
N
M
F
E
D
M
Fig. 17.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Nollet's Magnet-Electrische Maschine.



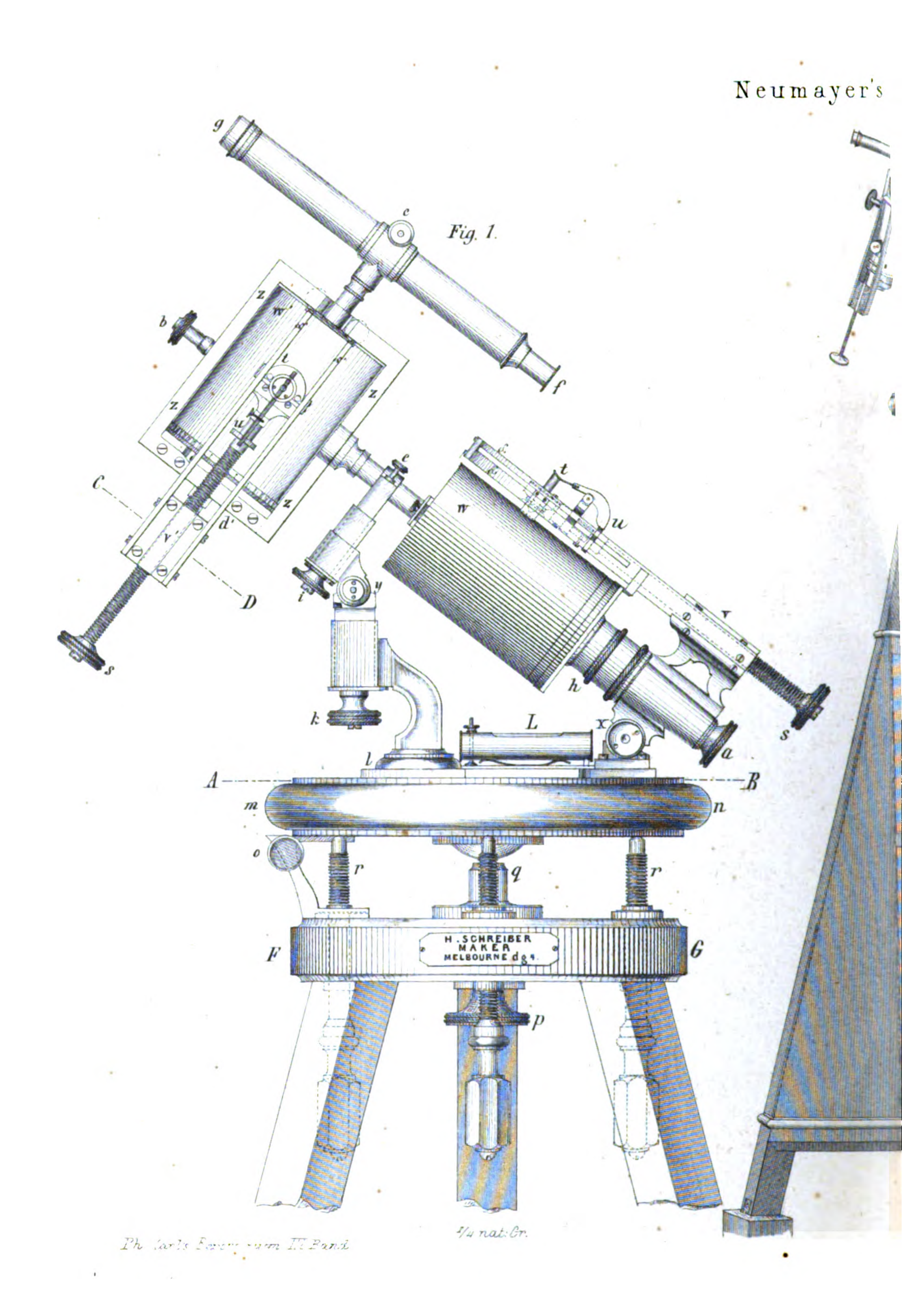

Ladd's Electrodynamische Maschine.

Fig. 6.



Bunge's Wage

Neumayer's



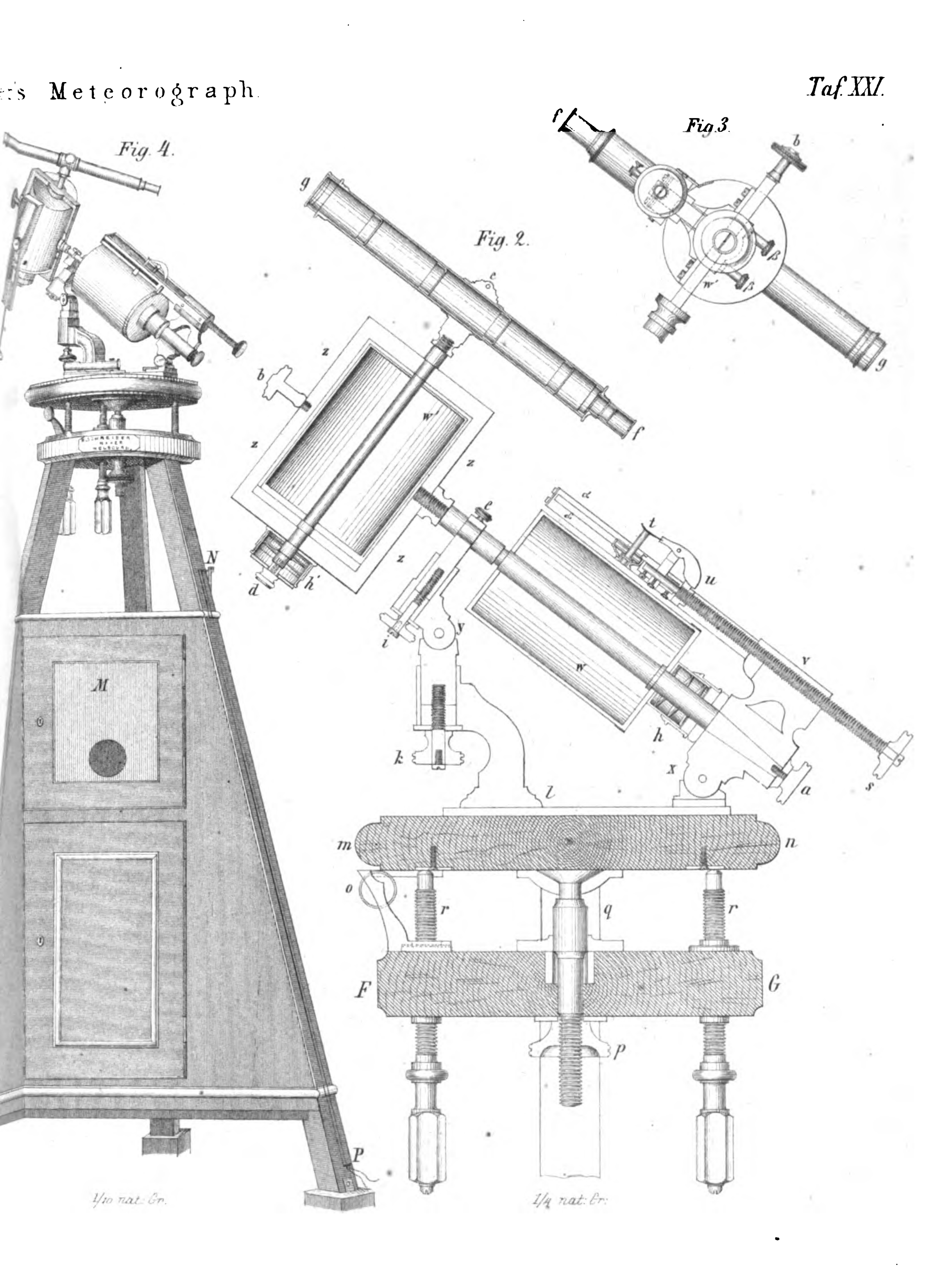

Fig. 4.
Fig. 2.
Fig. 3.
M
N
P
1/10 nat. Gr.
1/4 nat. Gr.
F
G
m
n
o
q
r
r
p
l
k
i
y
x
a
s
v
u
t
h
w
w'
e
d
h'
b
z
z
z
z
g
f
c
β
β

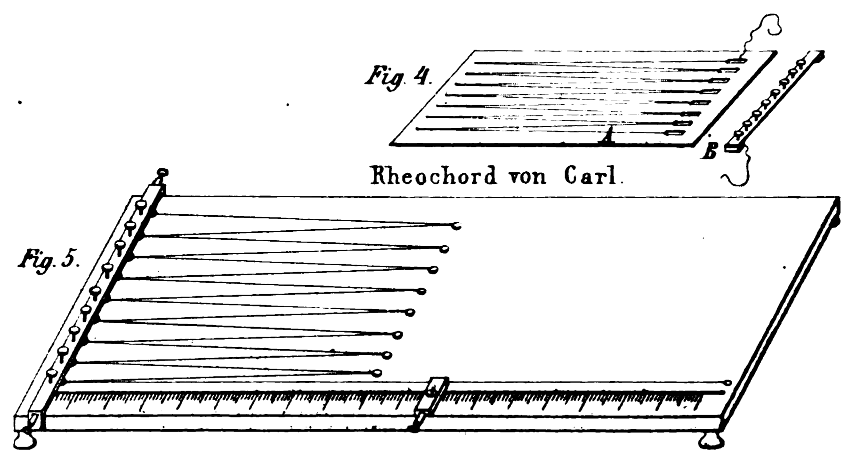
Fig. 1.

Fig. 2.

v. Lang's Optische Apparate

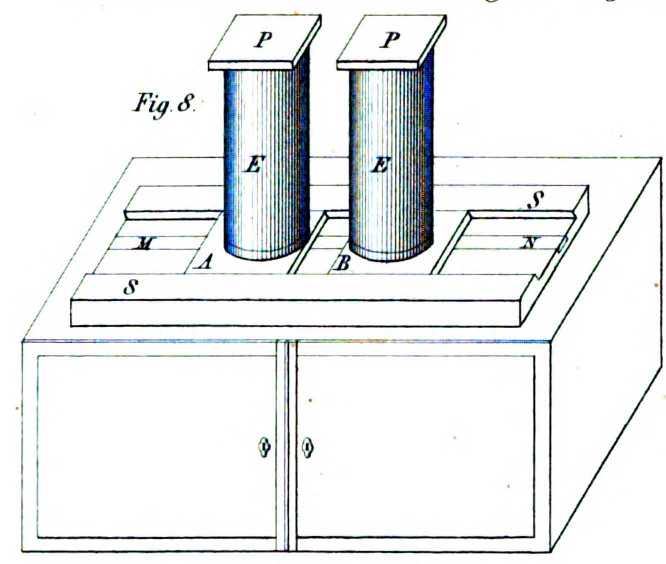
Fig. 3.

Kravogl's Quecksilberluftpumpe.

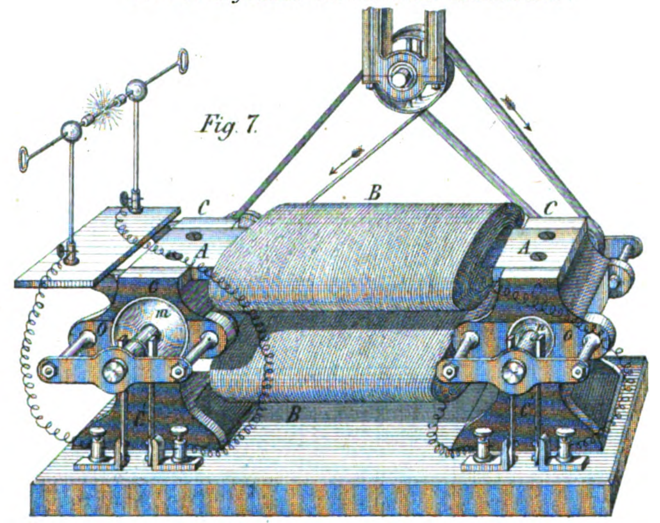



Rheochord von Carl.

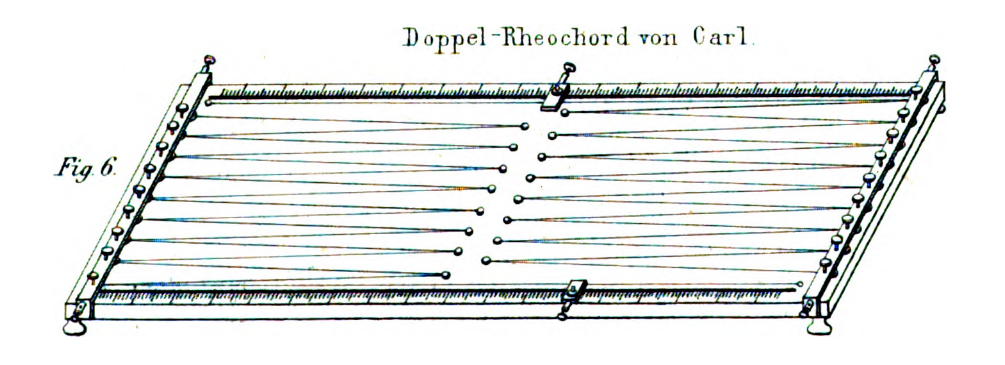
Ph. Carl. Apparat zur Herstellung von Magneten

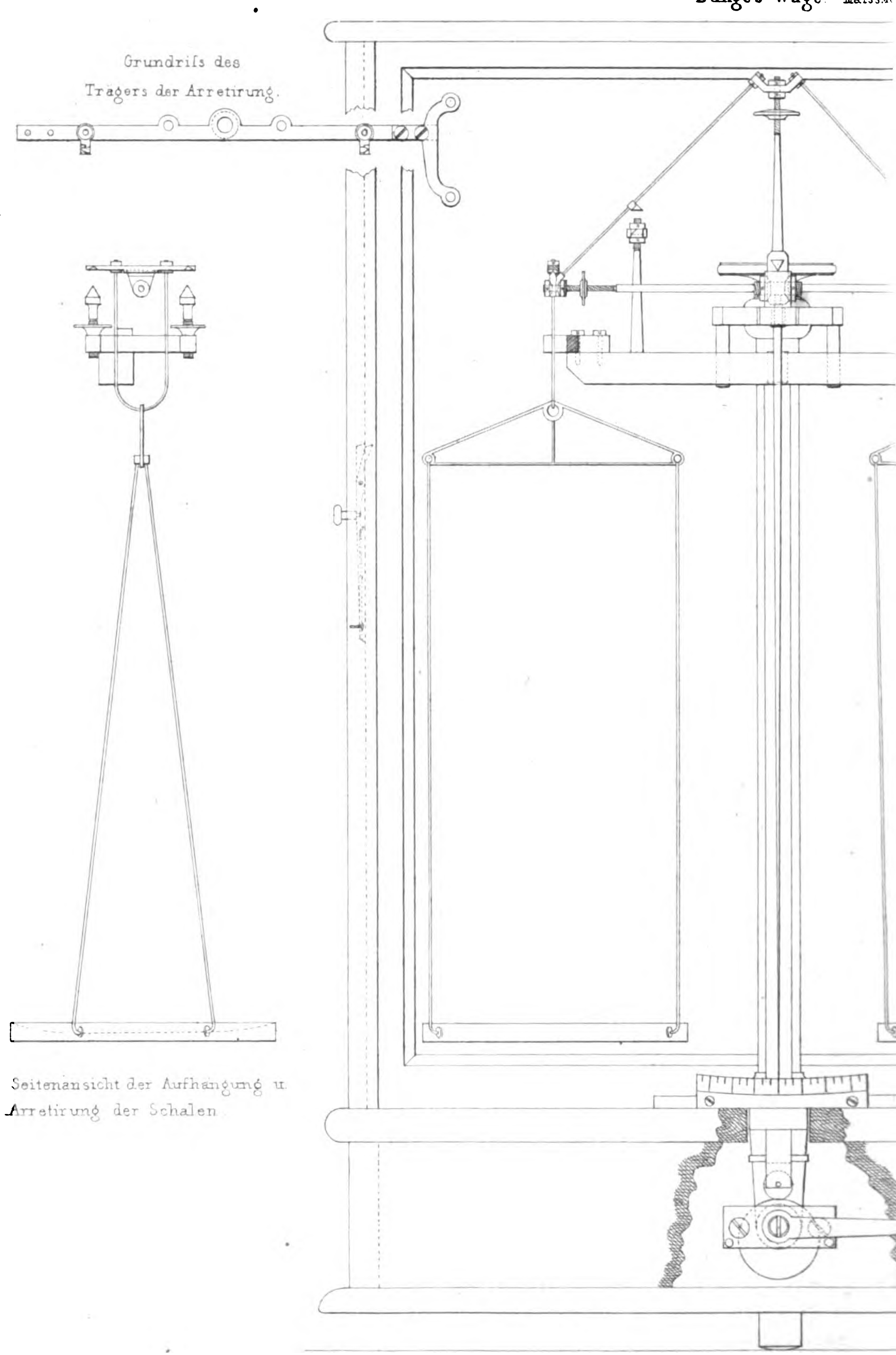


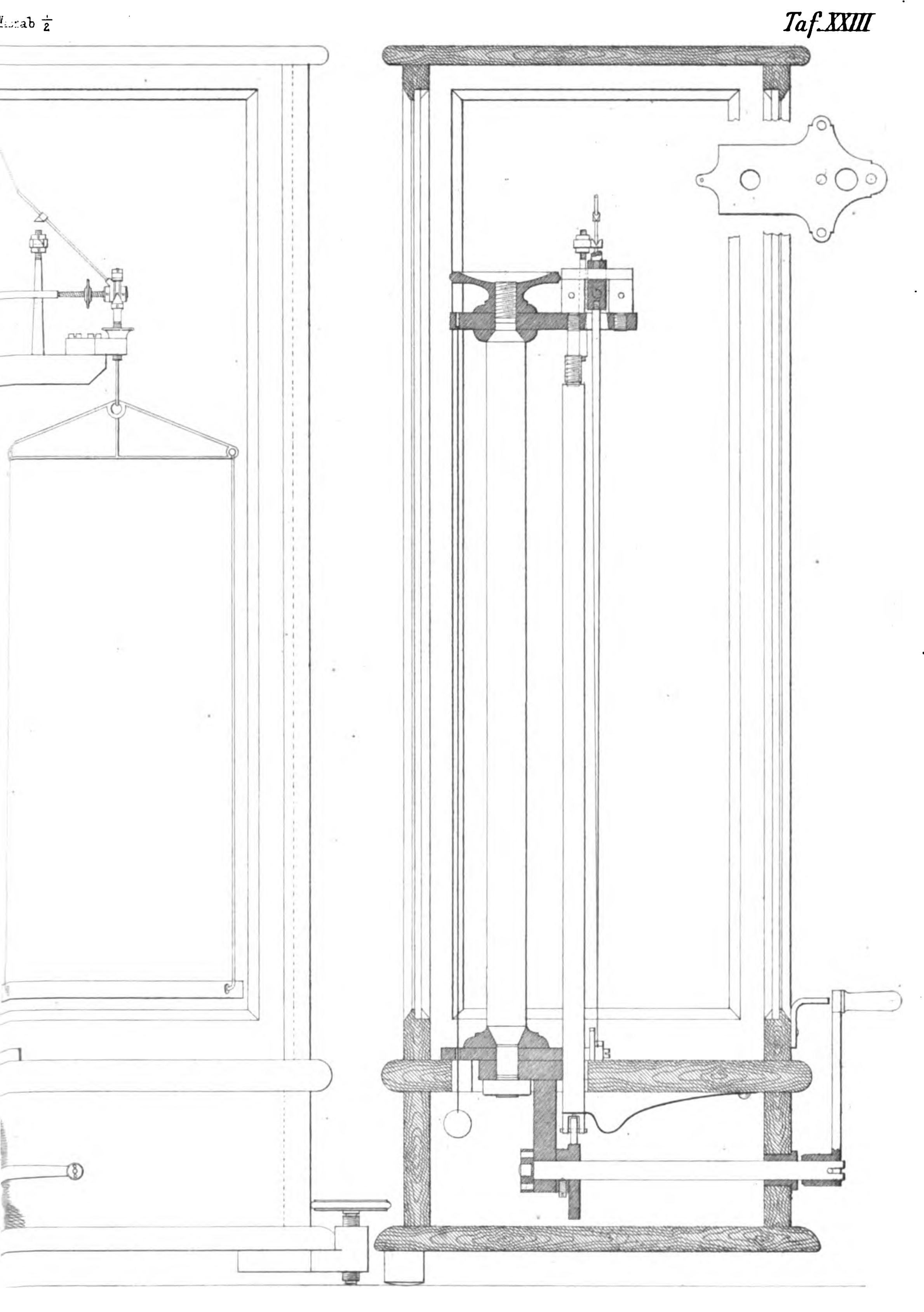

Ladd's Dynamo-electrische Maschine.

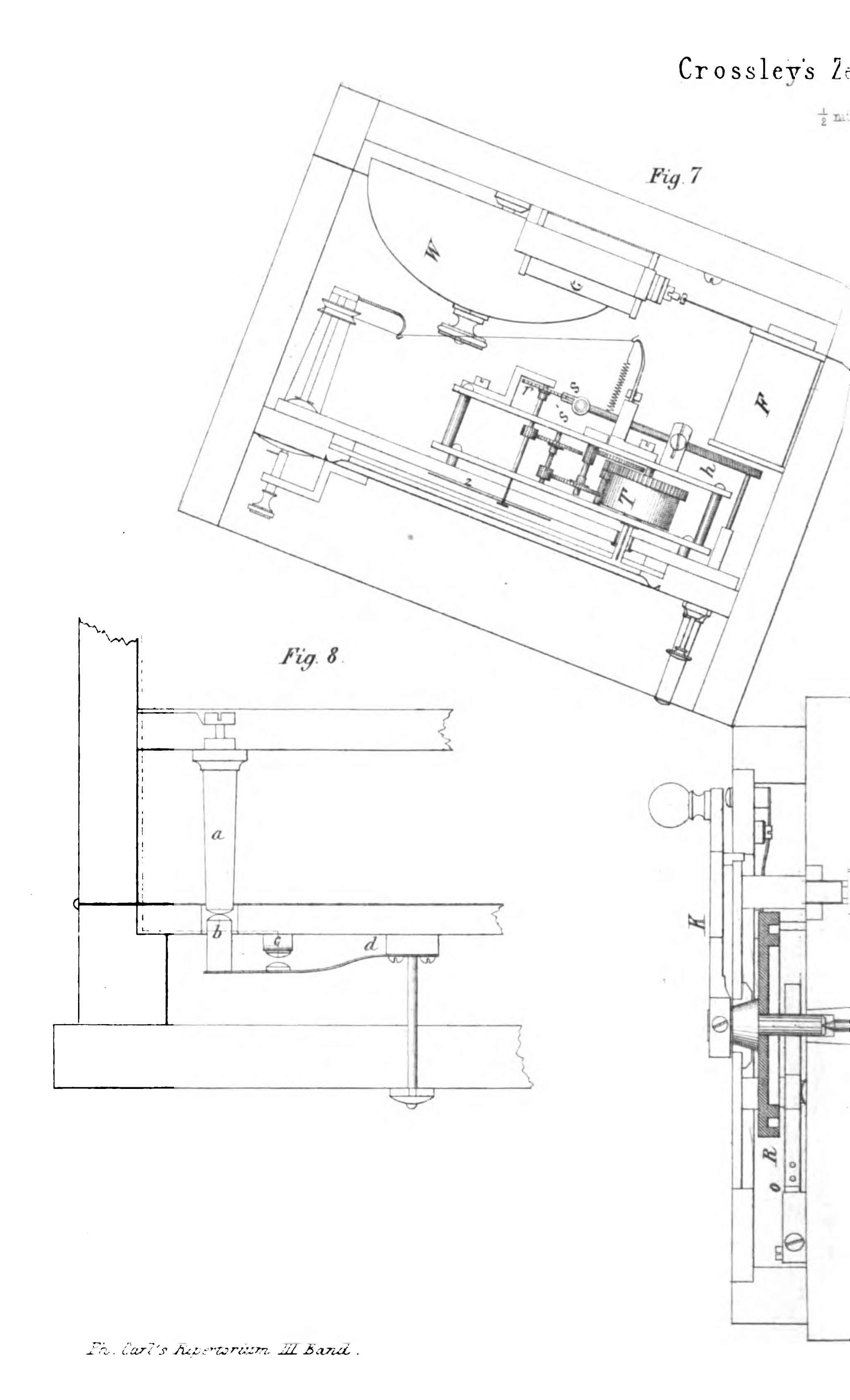



Doppel-Rheochord von Carl.




Grundrifs des
Trägers der Arretirung.
Seitenansicht der Aufhängung u.
Arretirung der Schalen


…stab 1/2


½ nat
Fig. 7
W
G
F
r
s
s'
T
h
z
Fig. 8
a
b
c
d
K
R
o

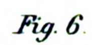
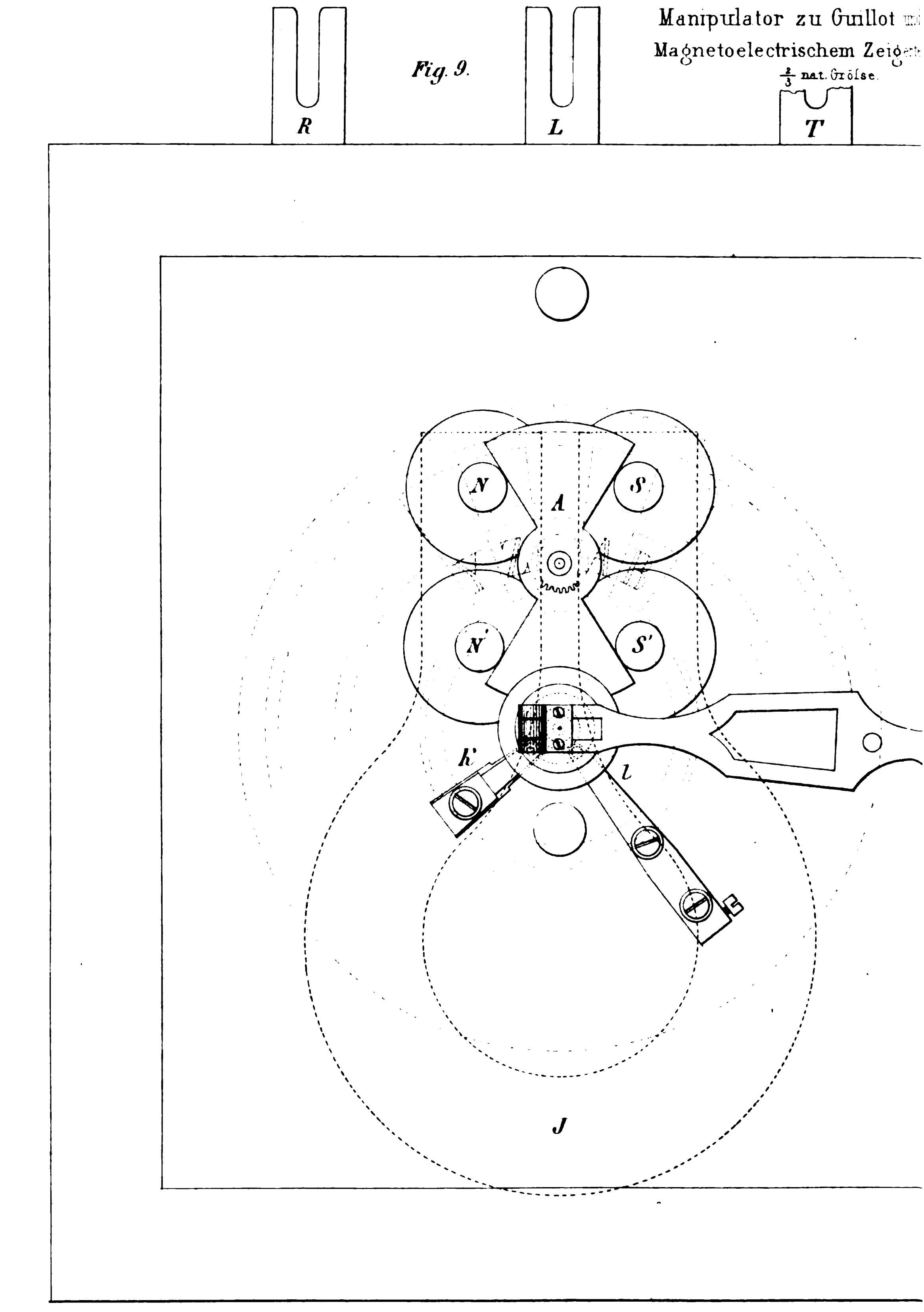


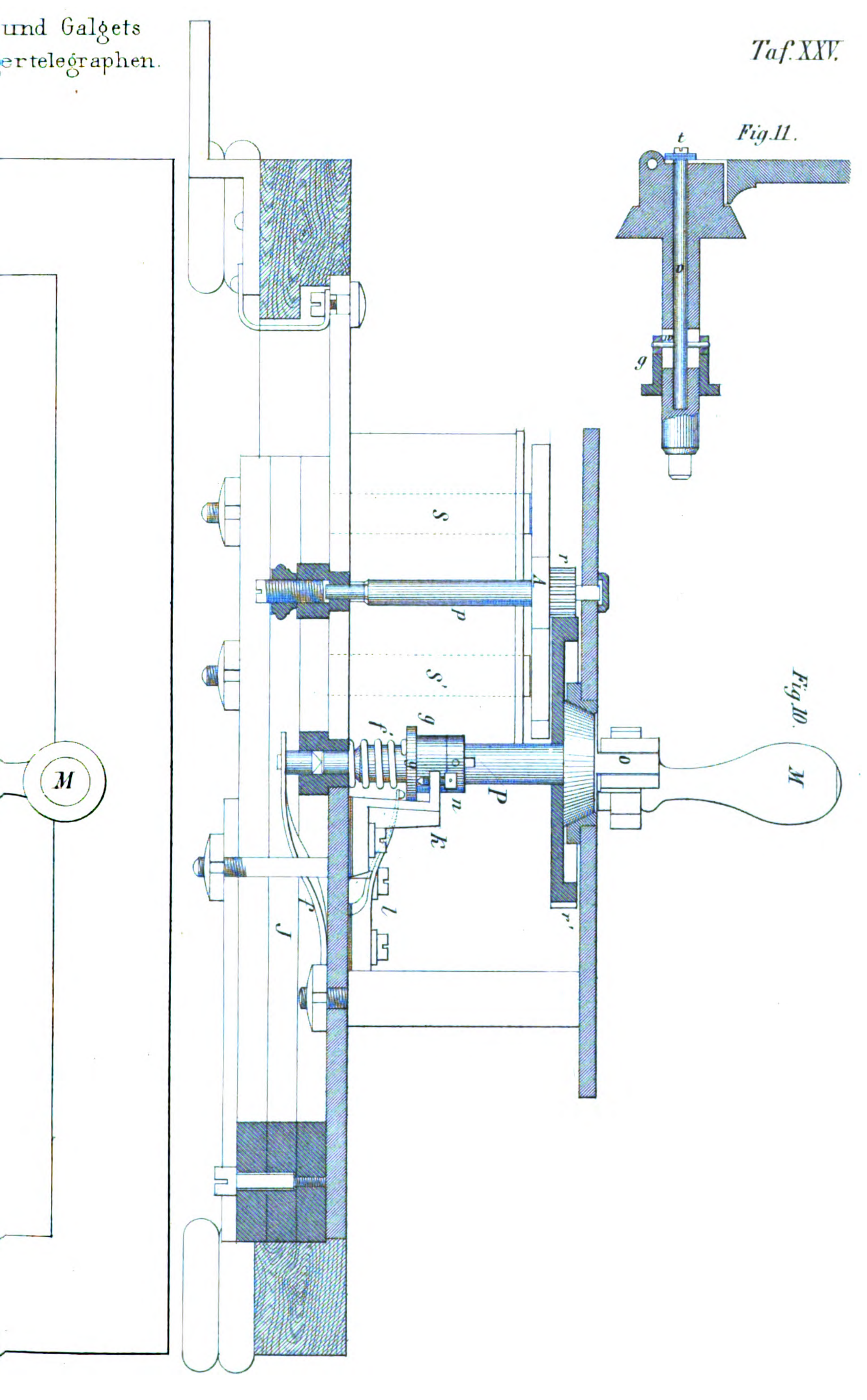
Fig. 6.



Manipulator zu Guillot
Magnetoelectrischem Zeig
2/3 nat. Grösse.
Fig. 9.
R
L
T
N
S
A
N'
S'
k'
l
J

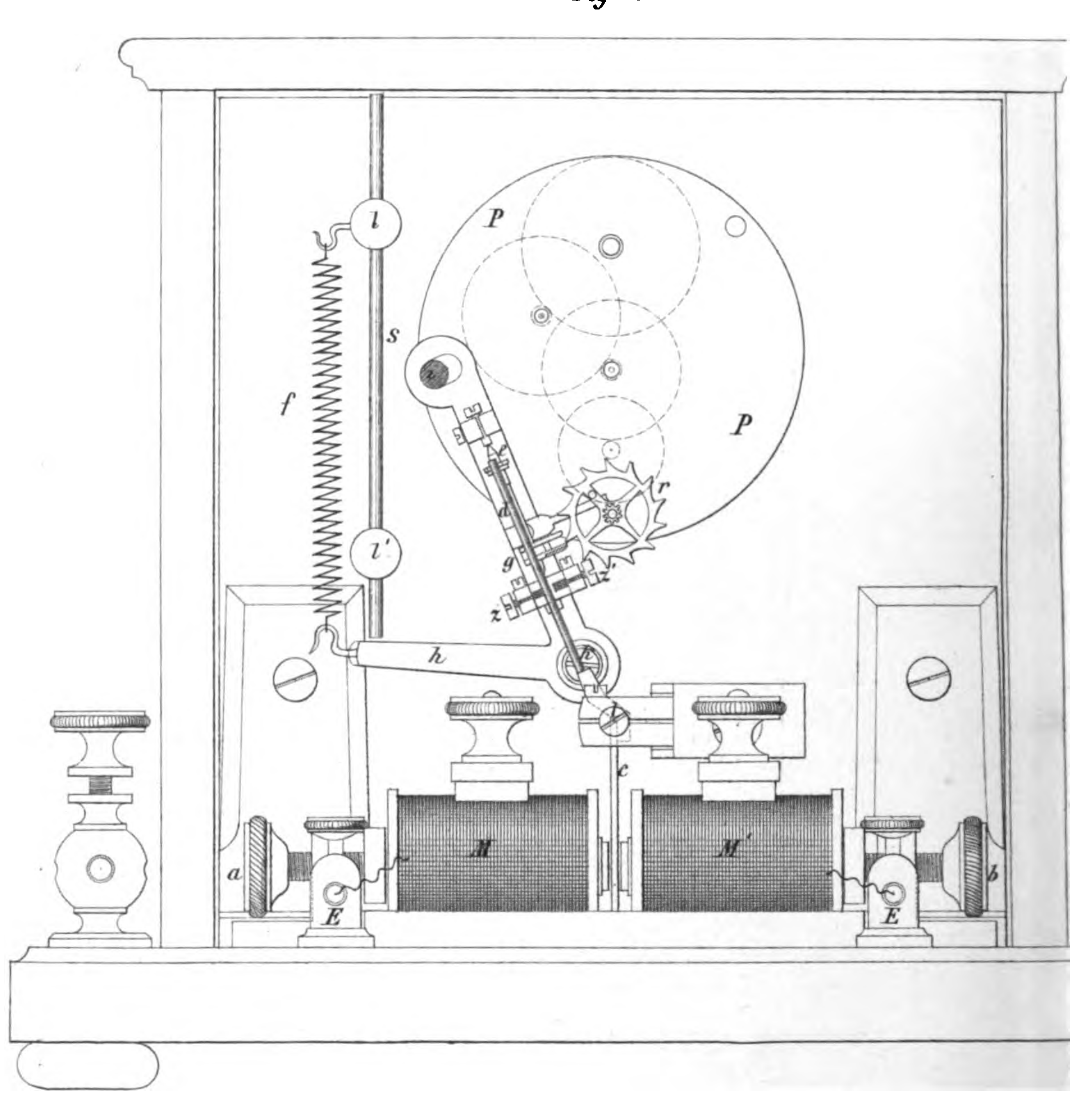
und Galgets
ertelegraphen.

Taf. XXV.

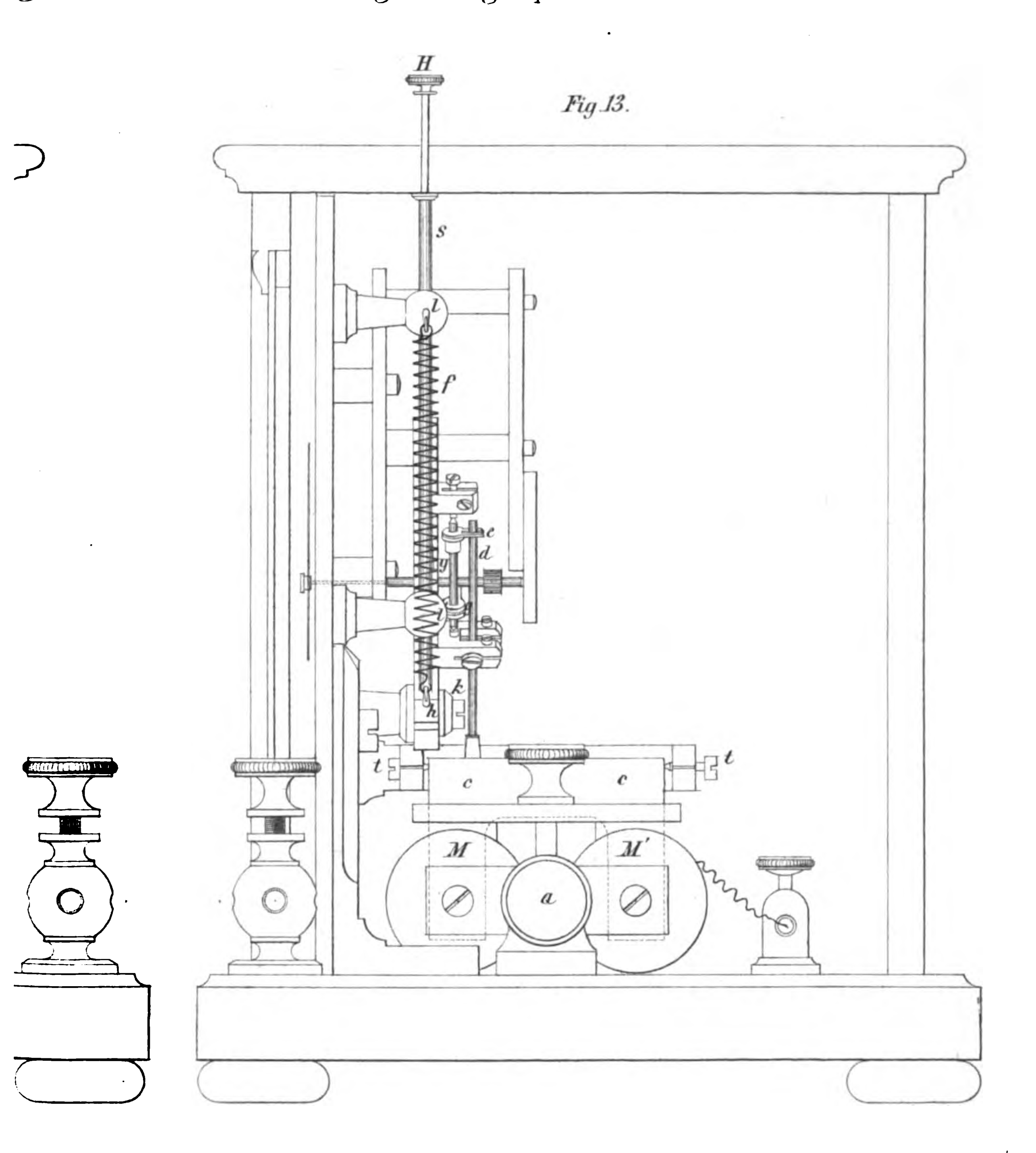


Receptor zu Guillot und Galgets Ma

Fig. 12.



gnetoëlectrischem Zeigertelegraphen



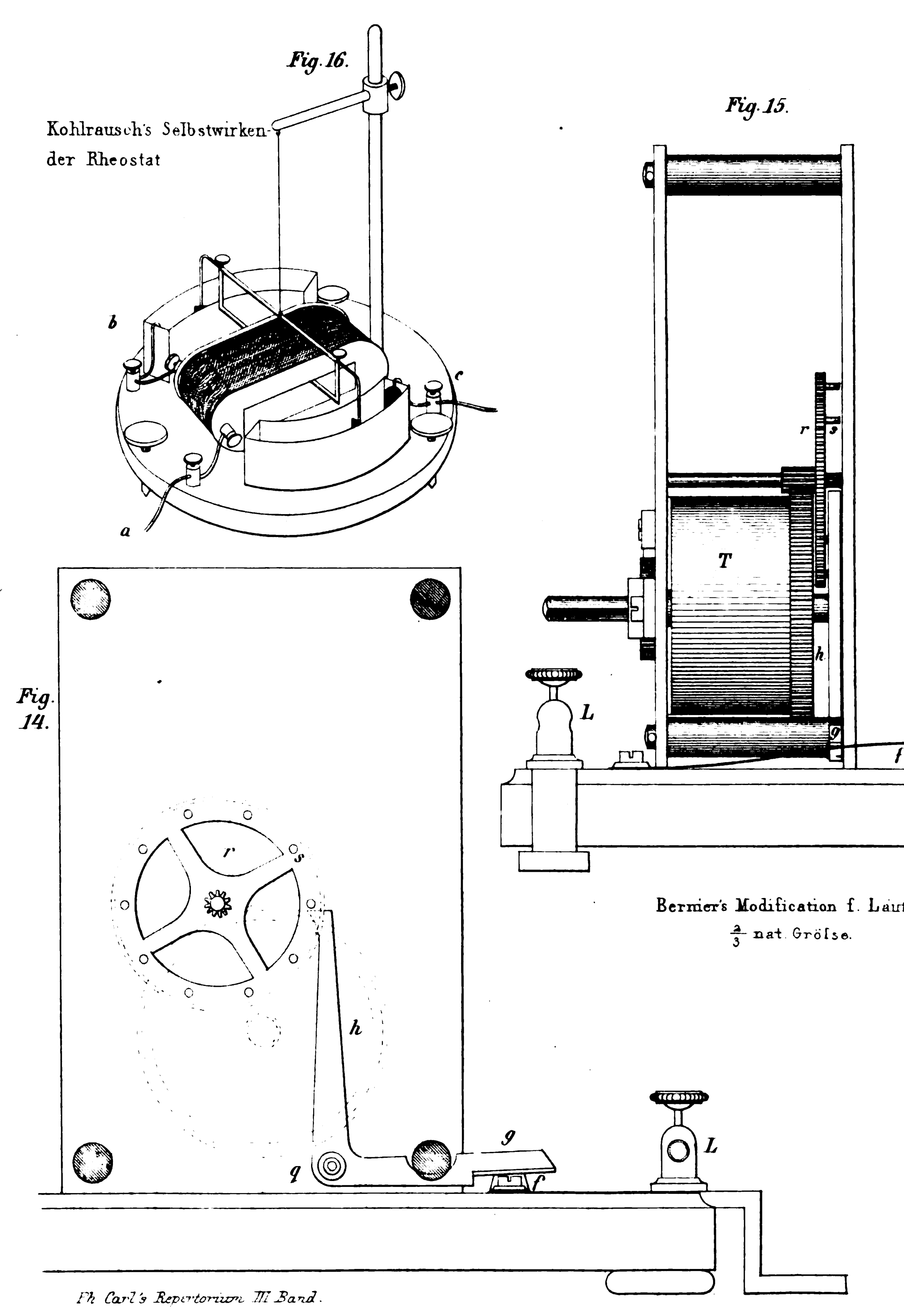


Fig. 16.
Kohlrausch's Selbstwirkender Rheostat
b
c
a
Fig. 15.
r
s
T
h
L
g
f
Fig. 14.
r
s
h
q
g
f
L
Bernier's Modification f. Lau
$\frac{2}{3}$ nat. Grölse.

Fig. 17.

F

E

$G_0$ $G_1$ $G_2$ $G_3$ $G_4$ $G_5$ $G_6$ $G_7$ $G_8$ $G_9$ $G_{10}$

A

B

C

D

Vorder-Ansicht.

Fig. 17 b

a a

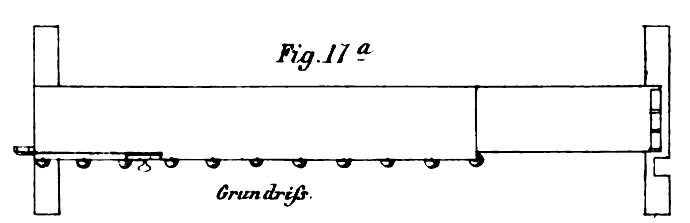
Seiten-Ansicht

K

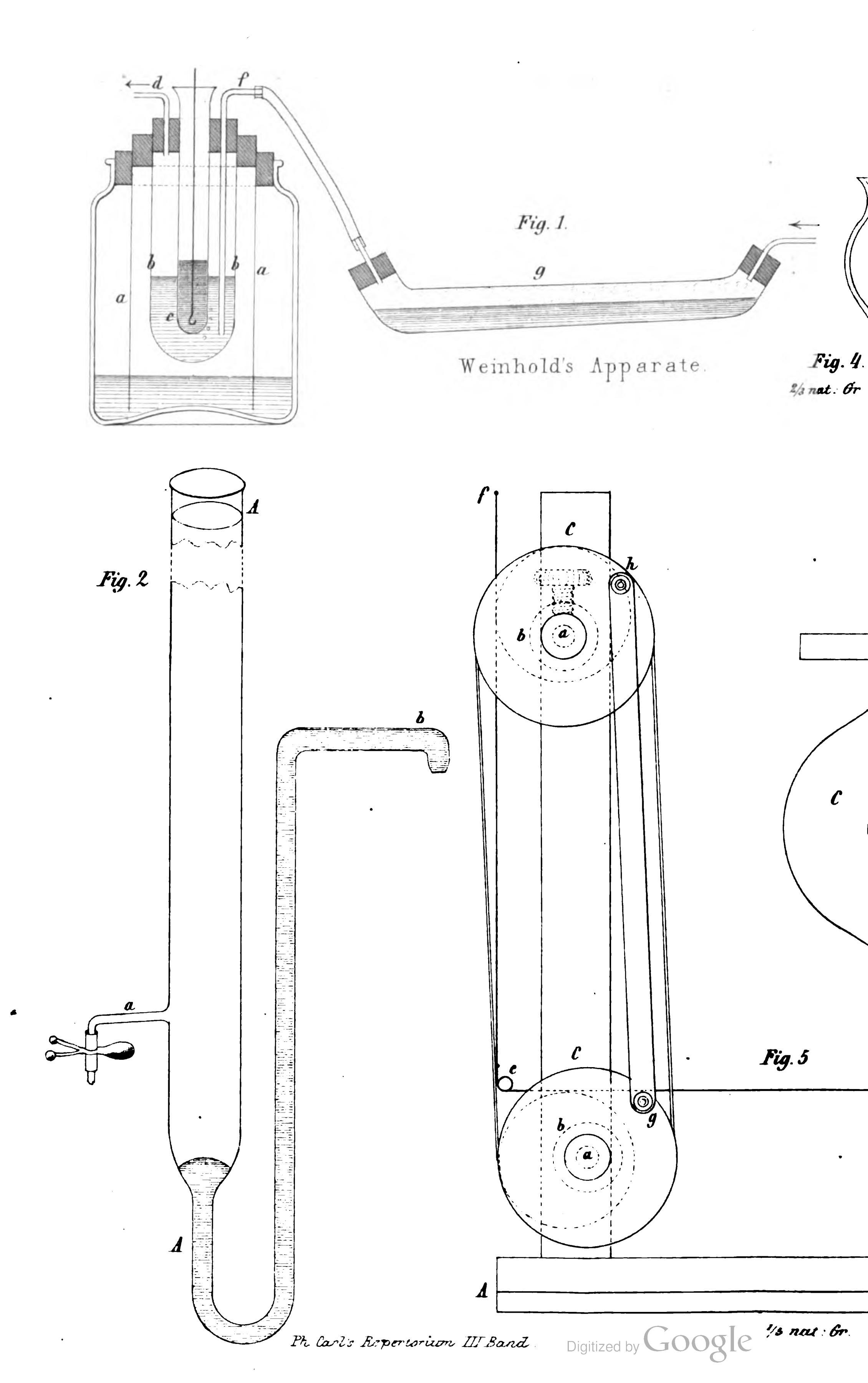
o

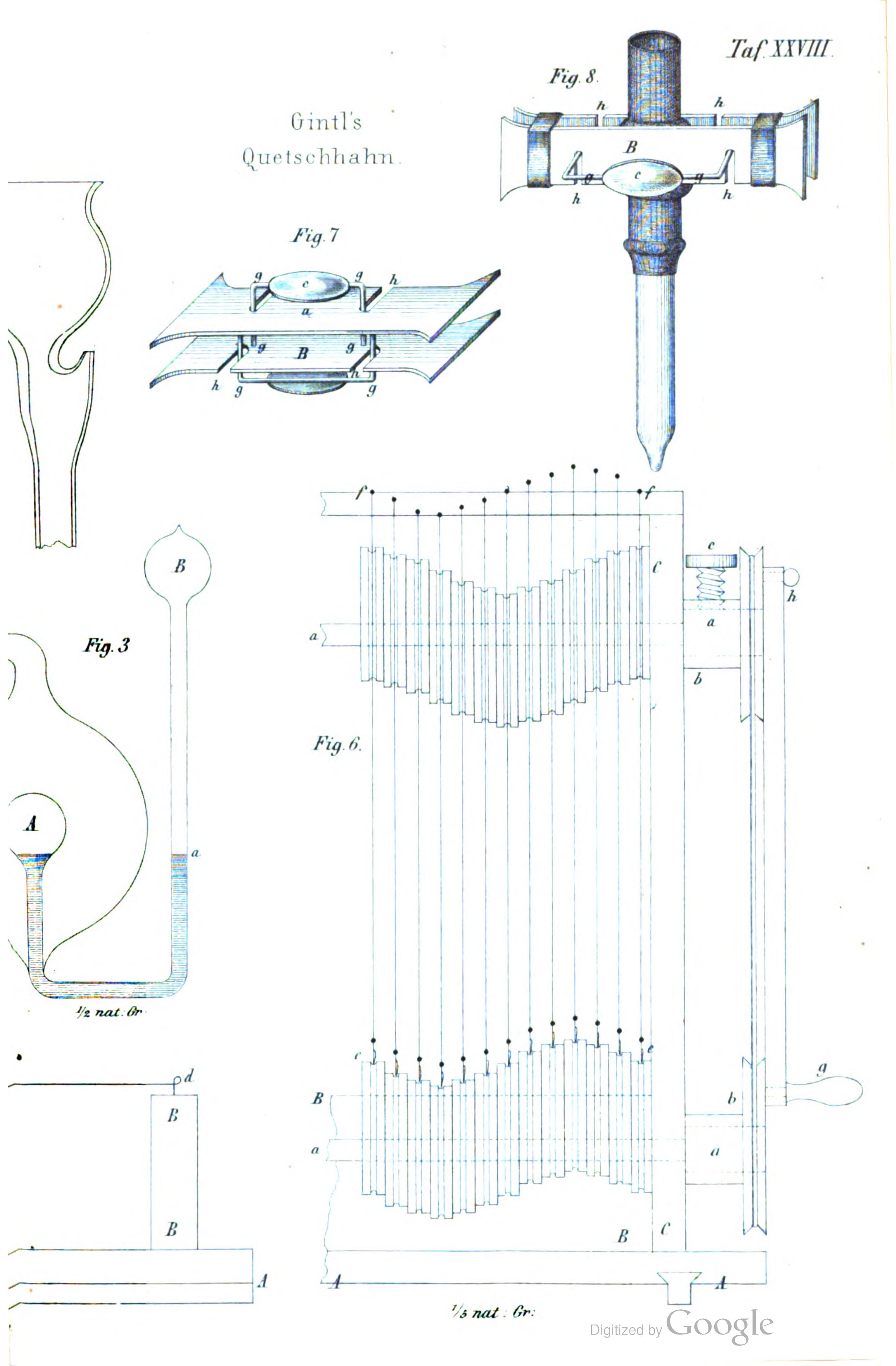
t

…werke.




Hagenbach's Apparat zur Demonstration der Gesetze der Wurfbewegung. $\frac{1}{12}$ nat. Grösse.


d
f
Fig. 1.
b
b
a
a
c
g
Weinhold's Apparate.
Fig. 4.
2/3 nat: Gr
Fig. 2
A
b
a
A
f
C
h
b
a
C
Fig. 5
C
e
g
b
a
A
1/5 nat: Gr.


Taf. XXVIII.
Gintl's
Quetschhahn.
Fig. 8.
Fig. 7
Fig. 3
1/2 nat: Gr.
Fig. 6.
1/5 nat: Gr:

